

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра електронних приладів та пристроїв

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 621.38:53.083](043.3)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

(підпис) (ініціали, прізвище)
“ ” 20 р.

МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ

Зі спеціальності (спеціалізації) 171- електронні прилади та пристрої

На тему: Модульний вимірювач параметрів електронних компонентів

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ДЕ-81мп
Щовкопляс Денис Ярославович

(прізвищу, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник: Тугай С.Б.

(прізвищу, ім'я, по батькові)

(підпис)

Консультант:

(прізвищу, ім'я, по батькові)

(підпис)

Рецизент:

(прізвищу, ім'я, по батькові)

(підпис)

Нормконтроль: Чадюк В.О

(прізвищу, ім'я, по батькові)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Інститут/факультет: Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
(повна назва)

Кафедра: Електронних приладів та пристроїв
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною
(освітньо-науковою) програмою

Спеціальність (спеціалізація) 171 – електронні прилади та пристрої
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«__» _____ 20__ р.

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Шовкопляс Денис Ярославович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: Модульний вимірювач параметрів електронних компонентів

науковий керівник дисертації: асистент, к.т.н., Тугай Сергій Борисович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «07» листопада 2019 р. № 3859-с

2. Строк подання студентом дисертації: 13.12.2019

3. Об'єкт дослідження Вимірювання параметрів електронних компонентів, дослідження швидкості деградації пасивного елемента – мемристора, розробка алгоритму оцінки стану мемристора.

4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) Вимірювання вихідних даних номіналів пасивних електронних компонентів, джерело живлення – 5 В, постійний струм - 20 мА, тактова частота 16 МГц.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Графічні ілюстрації структурної та електрично принципової схем модульного вимірювача параметрів електронних компонентів, розробити алгоритм оцінки стану мемристора.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Графічна ілюстрація структурної схеми приладу, графічна ілюстрація електрично принципової схеми, ілюстраційний плакат з переліком графіків та формул.

7. Орієнтовний перелік публікацій:

1. Наукова конференція факультету електроніки – 2017 рік.

2. Наукова конференція факультету електроніки – 2019 рік.

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Дата видачі завдання 01.09.2018

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд науково-технічної літератури по методам вимірювання електронних компонентів	05.10.2019	
2	Дослідження методів вимірювання мемристору	15.10.2019	
3	Розробка алгоритму для оцінки стану мемристору.	25.10.2019	
4	Оформлення графічної частини, пояснювальної записки, плакатів, підготовка доповіді.	05.11.2019	

Студент

(підпис)

Шовкопляс Д.Я.

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Тугай С.Б.

(ініціали, прізвище)

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

З М І С Т

	РЕФЕРАТ	1
	АНОТАЦІЯ.....	2
	ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	3
	В С Т У П	5
1.	ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ПО ПРИЛАДАМ	6
1.1.	МЕТОДИ ТА ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ НОМІНАЛІВ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ.....	6
1.2.	ОГЛЯД СУЧАСНИХ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ, ТА ПЛАТФОРМ ДЛЯ НИХ...	15
1.3	СЕРЕДОВИЩЕ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	30
	ВИСНОВОК.....	33
2	ТЕОРИТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	34
2.1	МІКРОКОНТРОЛЕР PIC16F876.....	34
2.1.1.	ПОРТИ ВВОДУ/ВИВОДУ.....	38
2.1.2.	ТРИГЕР ШМІТТА.....	42
2.1.3.	ОСНОВНІ ПЕРЕВАГИ МІКРОКОНТРОЛЕРА PIC16F876.....	43
2.1.4.	ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ МІКРОКОНТРОЛЕРА...	45
2.1.5.	ВНУТРІШНЯ СХЕМА МІКРОКОНТРОЛЕРА.....	55
2.1.6	ОРГАНІЗАЦІЯ ПАМ'ЯТІ МІКРОКОНТРОЛЕРА.....	57
2.2.	МЕМРИСТОР.....	67
2.2.1.	ОСНОВНА ТЕОРІЯ.....	67
2.2.2.	ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕМРИСТОРА.....	70
2.2.3.	ДОСЛІДЖЕННЯ МЕМРИСТОРІВ.....	72
2.2.4.	ПРИНЦИП ДІЇ МЕМРИСТОРА.....	74
2.2.5.	ЗАВДАННЯ ПРИ ПОБУДОВІ БЛОКУ В ВЕК ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ МЕМРИСТОРА.....	80
	ВИСНОВОК	82
3	РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	83
3.1	ОПИС ІДЕЇ ПРОЕКТУ	85
3.2	ТЕХНІЧНИЙ АУДИТ ІДЕЇ ПРОЕКТУ	88
3.3	АНАЛІЗ РИНКОВИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАПУСКУ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	89
3.4	РОЗРОБКА МАРКЕТИНГОВОЇ ПРООГРАМИ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	93
	ВИНОВОК	95
4	РОЗРОБКА МІКРОКОНТРОЛЕРНОГО ВИМІРЮВАЧА ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ.....	97

4.1	АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	98
4.2	РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	99
4.3	РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ.....	101
4.3.1	ДЖЕРЕЛО НАПРУГИ.....	102
4.3.2	БЛОК ВИМІРУ НОМІНАЛІВ КОНДЕНСАТОРІВ ТА КОТУШОК ІНДУКТИВНОСТІ.....	103
4.3.3	БЛОК ДЛЯ ВИМІРУ АКТИВНОГО ОПОРУ РЕЗИСТОРА.....	105
4.3.4	БЛОК ДЛЯ ВИМІРУ МЕМРИСТОРА.....	105
4.3.5	ВИВЕДЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ НА ДИСПЛЕЙ.....	108
4.4	РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	109
	ВИСНОВОК.....	110
5.	РОЗПРІБКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМИ В СЕРЕДОВИЩІ ПРОГРАМИ PROTEUS.....	111
	ВИСНОВОК.....	113
6.	РОЗРОБКА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ.....	114
	ВИСНОВОКИ.....	118
	СПИСОК НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	120
	ДОДАТКИ	
	ДОДАТОК 1, ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ.....	121
	ДОДАТОК 2 СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА-ПРИНЦИПОВА	122
	ДОДАТОК 3 ДРУКОВАНА ПЛАТА (Верхня сторона)	123
	ДОДАТОК 4 ДРУКОВАНА ПЛАТА (Нижня сторона)	124

РЕФЕРАТ

«Модульний вимірювач параметрів електронних компонентів»

Магістерська робота напряму підготовки **171 - «Електронні прилади та пристрої»**. Шовкопляс Денис Ярославович. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського. Факультет електроніки, кафедра електронних приладів та пристроїв. Група ДЕ-81мп. – К.: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» 2019. – 131 с., іл. 85, табл. 35.

Ключові слова: ВЕК – вимірювач електронних компонентів. РЧ – резонансна частота. ПС – постійний струм., мемристор.

Короткий зміст роботи: Дана дипломна робота присвячена дослідженню вимірювачів електронних компонентів, мікроконтролерів, та нових електронних компонентів – мемристорів. В ній представлено результати розробки приладу для вимірювання індуктивності, ємності, активного опору та мемристивності.

У вступі сформульована головна задача роботи і показана її актуальність. В розділі «огляд технічної літератури» представлений результати аналізу літератури, яка присвячена для того, щоб надати інформацію про характеристики та можливості мікроконтролерів. Ці основні параметри та характеристики використані для розробки вимірювача електронних компонентів. В оглядовій частині приведені сучасні мікроконтролери, та вимірювачі електронних компонентів та принципи їх роботи. В теоретичній частині докладно описуються можливості обраного мікроконтролера, а також можливості та принцип дії мемристорів. В розрахунковій частині приведений алгоритм до вимірювання швидкості деградації робочих зон мемристора за якою можна передбачувати чи підлягає елемент заміні. В розділі розробки приладу приведені методики та результати розробки використовуючи основні параметри мікроконтролера.

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		1

АНОТАЦІЯ

Даний дипломний проект присвячений дослідженню та вивченню вимірювачів електронних компонентів та розробці такого приладу для вимірювання номіналів пасивних елементів, разом із новим елементом в сучасній електроніці – мемристора. Приведені результати розробки цього приладу із можливістю виведення інформації про номінал компоненту на дисплей.

Проект складається із вступу, аналізу літератури, теоретичної частини, аналізу технічного завдання, розробки структурної схеми, розробки електричної принципової схеми, моделювання у програмному середовищі та розробки друкованої плати.

У проекті показані результати дослідження мікроконтролерів, оптимальних для розробки приладу, нового пасивного елемента – мемристора та розробка приладу для зчитування, обробки та виведення корисної інформації про номінал компоненту. Також була сконструйована структурна та електрична принципова схеми та разом з тим промодельовані в програмному середовищі для впевненості роботи приладу. За цими схемами зроблена друкована плата.

S U M M A R Y

This diploma project is devoted to the study of electronic components meters, and the development of such a device for measuring the values of passive elements, along with a new element in modern electronics - the memristor. The results of the development of this device for the output of useful information about the nominal component of the display are shown.

The project consists of the introduction, analysis of the literature, theoretical part, analysis of the technical task, the development of a structural scheme, the development of an electric principle circuitry, simulation in the software, and the development of the printed circuit board.

The project shows the results of the microcontroller's study of the optimal instrument development, a new passive element - the memristor and the development of a reader - processing - the output of useful information about the component's nominal value. Therefore, the structural and electrical principle

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				2
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

schemes were designed and modulated in a software environment for the confidence of the device. Under these schemes a printed circuit board was made.

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				3
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік умовних позначень, символів та скорочень

BEK	Вимірювач електронних компонентів.
MK	Мікроконтролер.
ПС	Постійний струм.
F	Частота задаючого генератора.
ΔI	Зміна амплітуди струму.
Δt	Зміна за часом
GND	Заземлення
t_n	Тривалість імпульсу
ESR	Активні втрати.
EEPROM	Репрограмуємий постійний запам'ятовуючий пристрій
WDT	Сторожовий таймер
LVP	Низьковольтне програмування
LP	Низькочастотний резонатор.
XT	Звичайний резонатор.
HS	Високочастотний резонатор.
RC	Зовнішня RC ланцюг.
АЛП	Арифметично логічний пристрій.
ОЗП	Оперативне запам'ятовуючий пристрій.

Вступ

В сучасному світі прилади для вимірювання номіналів електронних компонентів будуть завжди актуальними та потрібними. В інженерії важливо знати з якими компонентами працюєш. З часом написи на корпусах електронних компонентів можуть пошкодитись, або і зовсім здертися. Тому на даний час актуально розробляти нові прилади для вимірювання номіналів електронних компонентів, а також вдосконалювати їх під потреби сьогодення.

В приладах, які пропонуються на ринку, є багато можливостей, таких як: визначати полярність компоненту, якщо вона є; розрахувати струм втрат; або і зовсім прилади самі визначають який саме невідомий компонент під'єднаний до нього. Це забезпечується за допомогою мікроконтролера. На сьогоднішній день мікроконтролерні схеми є майже в усіх електронних приладах, тому що саме за допомогою мікроконтролера можна точно зчитати інформацію, обробити її та вивести на дисплей. Все це робиться за долі секунд.

Саме тому використовуючи мікроконтролер в приладі для вимірювання електронних компонентів, можна значно спростити схему з аналогової у цифрову, а також визначити номінал з точністю до 1%. Використовуючи методи для вимірювання номіналів ємності, індуктивності, та активного опору, мікроконтролер з легкістю розрахує їх номінали за допомогою програмного забезпечення яке вшите в нього.

З нових відкриттів у світі електроніки можна взяти винайдення нового елементу пам'яті – мемристор. Також готуються розробки нових технологій які будуть базуватися саме на мемристорі, так як його внутрішнім опором можна маніпулювати завдяки заряду, який проходить через нього. Тому постає одна із задач: знайти спосіб як саме виміряти внутрішній опір мемристора.

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		5

1. Огляд науково-технічної літератури

1.1 Методи та прилади для вимірювання номіналів електронних компонентів

Одними із простих LC вимірювачів є аналогові схеми:

Схема С-вимірювача

На рис. 1.1 приведена схема електрична принципова аналогового вимірювача котушок індуктивності та конденсаторів.

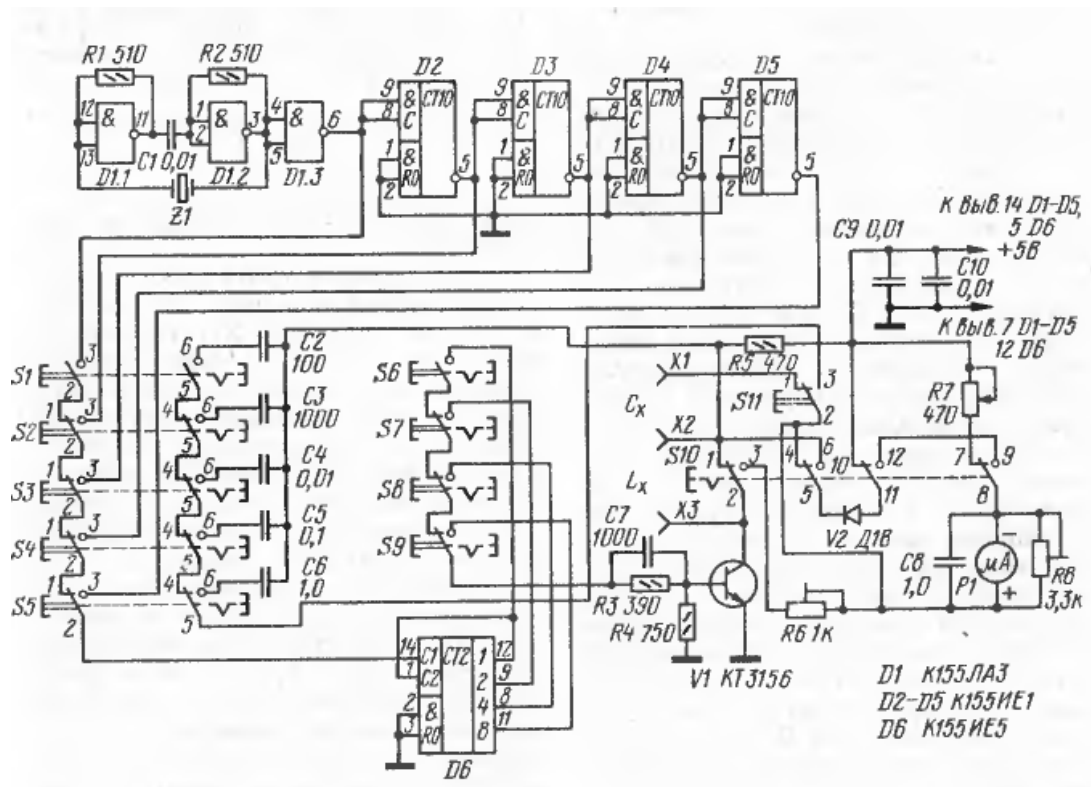


Рис. 1.1 Схема електрична принципова аналогового вимірювача ємності

Принцип дії приладу в режимі вимірювання ємності заснований на вимірюванні середнього значення розрядного струму вимірюваного конденсатора, який періодично перезаряджається з частотою F . Коли ключ в транзисторі $V1$ відкритий, відбувається швидкий заряд конденсатора (C_x) по ланцюгу: «плюс» джерела живлення – діод $V2$, відкритий транзистор, $V1$ – під'єднаний до мінуса джерела живлення.

Вимірювач дозволяє вимірювати ємності конденсаторів від 10 пФ до 8 мкФ на п'яти основних шкалах: 0 ... 100; 0 ... 1000; 0 ... 10000; пФ, 0 ... 0,1; 0 ... 1,0 мкФ. За допомогою вузла розтяжки шкали верхня межа на кожному піддіапазоні може бути збільшена в 2,4 і 8 разів. Мінімальне значення вимірюваної ємності визначається тільки конструктивною ємністю приладу.

Подамо на вхід транзисторного ключа (V1) напругу прямокутної форми у якій тривалість імпульсу t_n дорівнює тривалості паузи t_p . В інтервалі часу t_n між імпульсами конденсатор (C_x) розряджається через навантаження ключа (R3) і мікроамперметр (P1), що вимірює середні значення сили розрядного струму. Постійна часу в такому колі значно менше часу паузи t_p , тому конденсатор встигає практично повністю розрядитися до моменту приходу чергового імпульсу.

За один період конденсатор (C_x) в сталому режимі буде визначатися співвідношенням:

$$Q = C \cdot U_c \quad (1.1.1)$$

Де, U_c – напруга до якого заряджен конденсатор.

Таким чином, заряд конденсатора (C_x) за один період в сталому режимі буде визначатися співвідношенням:

$$Q = C_x \cdot U_H \quad (1.1.2)$$

Де, U_H – амплітуда імпульсу зарядженого конденсатора (C_x).

При періодичній перезарядці конденсатора з частотою F , середній розрядний струм, що протікає через мікроамперметр (P1), визначається таким співвідношенням:

$$I_{зм} = Q \cdot F = C_x \cdot U_H \cdot F \quad (1.1.3)$$

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		7

$$C = \frac{I_{3M}}{U_H \cdot F} \quad (1.1.4)$$

Зі співвідношення робимо висновок, що ємність конденсатора C_x пропорційна разрядному току I_{3M} . Отже, при стабільних значеннях F і U_H шкала приладу буде лінійна у всьому діапазоні вимірюваних ємностей.

Схема L-вимірювача:

Для того щоб виміряти номінал котушки індуктивності, представлена аналогова схема на рис. 1.2.

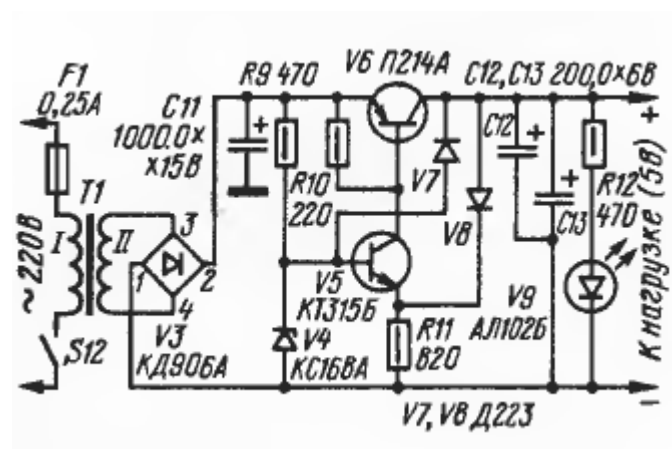


Рис. 1.2 Схема електрична принципова аналогового вимірювача індуктивності

Вимірювання індуктивності також проводиться на 5 діапазонах: 0 ... 10, 0 ... 100 мкГн, 0 ... 1, 0 ... 10, 0 ... 100 мГн, 0 ... 1 Гн, з можливістю розтяжки кінцевих значень в бік збільшення.

На Рис. 1.2 представлена аналогова схема простого вимірювача індуктивності. При вимірюванні індуктивності принцип роботи приладу заснований на явищі самоіндукції. Самоіндукція – це явище виникнення ЕДС індукції в котушці індуктивності при змінному струмі.

Якщо струм протікає через котушку та змінюється за величиною, то виникає ЕДС самоіндукції і напруга на котушці (без урахування втрат на котушці) визначається співвідношенням:

$$U_L = - \frac{L \Delta I}{\Delta t} \quad (1.1.5)$$

Де, L – Індуктивність котушки.

ΔI – Зміна амплітуди струму.

Δt – Час, за який відбувається зміна амплітуди струму.

Якщо в якості проміжку часу, протягом якого проводиться вимірювання, взяти напругу прямокутної форми період якої дорівнює T , який керує транзисторним ключем, то можна показати, що прилад працює з досить високою точністю:

$$U_L = - \frac{L \cdot I_K}{T} = -L \cdot I_K \cdot F \quad (1.1.6)$$

Де, U_L - Амплітуда напруга на котушці.

I_K - Струм колектора транзистора $V1$.

F - Частота напруги, що управляє.

T – Період напруги прямокутної форми.

Таким чином з рівняння вище отримуємо:

$$L = \left| \frac{U_L}{I_K F} \right| \quad (1.1.7)$$

Наведене співвідношення (1.1.7) показує, що вимірювана індуктивність котушки пропорційна амплітуді напруги на ній.

Важливою частиною L та C вимірювачів є генератор частоти. Задаючий частоту генератор виконаний на елементах $D1.1$, $D1.2$, $D1.3$. Частота генератора стабілізована кварцовим резонатором. З виходу генератора подається напруга прямокутної форми з частотою 1,6 МГц, що

надходить на декадний дільник частоти, зібраний на мікросхемах D2-D5. Перемикачі S1-S5 використовуються для вибору межі вимірювання. Потім сигнал надходить на формувач міандру і вузол розтяжки шкали, які виконані на схемі D6. Необхідність в формувачі міандру викликана особливістю застосованих в дільнику частоти мікросхем. Справа в тому, що тривалість імпульсу на її виході дорівнює тривалості вхідного імпульсу, а тому, якщо скваженість сигналу на першому піддіапазоні приблизно дорівнює 2, то на верхньому піддіапазоні вона становить близько 20000. Для того, щоб керувати вузлом вимірювання напругою постійної скваженості, є формувач міандру, зібраний на першому тригері мікросхеми D6.

На виході цього тригера завжди буде напруга прямокутної форми зі скваженістю, рівній 2 і частотою:

$$F^* = \frac{F}{2 \cdot K} \quad (1.1.9)$$

Де, F – Частота задаючого генератора, яка дорівнює 1,6 МГц.

K – Коефіцієнт ділення, який в залежності від включеного перемикача із груп S1-S5, складає $1 \dots 10^4$.

Вимірювач на мікроконтролері AVR.

Одним з провідних вимірювачів номіналів електронних компонентів на мікроконтролері на сьогоднішній день є LCR-T5 ATmega328 від компанії «CZB electronics».

Прилад дозволяє вимірювати індуктивність, ємність, ESR, і активні втрати конденсаторів.

ESR – параметр конденсаторів, який характеризує саме активні втрати конденсатора в схемі із змінним струмом.

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				10
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

- Автовизначення P-N-P та N-P-N транзисторів, N, P – канальних MOSFET діодів (VD), тиристорів (VT) та резисторів (R), також конденсаторів (C) та котушок індуктивності (L).
- Визначає наявність захистних діодів в біполярних транзисторах.
- Може виміряти опір одразу двох резисторів одночасно.
- Є можливість підключити SMD компоненти.
- Автоматично визначає процент втрат (V_{loss}).
- Прилад автоматично визначає стабілітрони, головне щоб наруга підсічки не перевищувала 4,5 В.

The diagram illustrates the internal circuitry of a microcontroller-based system. The central component is the ATmega8/88/168/328 microcontroller, which is connected to a 9V battery via a voltage divider (R10, T3) and a decoupling capacitor (C1). It is also connected to a 2.5V regulator (R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R13) and a 3.3V regulator (R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R13). The microcontroller's pins are connected to various components including LEDs (LED1, LED2), transistors (T1, T2, T3), and a 2x16 LCD display. The diagram includes a pinout table for the ATmega8/88/168/328 and a list of components.

ATmega8/88/168/328 Pinout:

Pin	Function
1	PC6(RESET)
2	PD0(RXD)
3	PD1(TXD)
4	PD2(INT0)
5	PD3(INT1)
6	PD4(XCK/T0)
7	VCC
8	GND
9	PB6(XTAL1/TOSC1)
10	PB7(XTAL2/TOSC2)
11	PD5(T1)
12	PD6(AIN0)
13	PD7(AIN1)
14	PB0(ICP)
15	PB1(OC1A)
16	PB2(OC1B)
17	PB3(MOSI/OC2)
18	PB4(MISO)
19	PB5(SCK)
20	PC6(RESET)
21	AVCC
22	AREF
23	PC0(ADC0)
24	PC1(ADC1)
25	PC2(ADC2)
26	PC3(ADC3)
27	PC4(ADC4/SDA)
28	PC5(ADC5/SCL)

Components:

- 9V Battery
- R10: 33k
- T3: BC557C
- IC2: 7805
- C1: 100n
- LED1: Red LED
- T1: BC547
- C2: 10n
- R9: 100k
- R8: 27k
- T2: BC547
- C3: 100n
- R13: 10k
- Reset: Push Button
- ISP: In-System Programmer
- Ubat: Battery
- R11: 10k
- R12: 3k3
- R1: 680
- R2: 470k
- R3: 680
- R4: 470k
- R5: 680
- R6: 470k
- TP1, TP2, TP3: Test Points
- LCD 2x16: Liquid Crystal Display

Рис. 1.3 Схеми принципів вимірювачів електронних компонентів

Даний прилад сконструйований на мікроконтролері Atmel MEGA328P. За допомогою мікроконтролера можна домогтись широкого діапазону вимірювання електронних компонентів, та високої точності.

Приведемо параметри приладу в таблицку :

Табл. 1.1 Діапазони вимірювання приладу

Параметр	Визначення
Діапазон вимірювання ємності	Від 25pF – 100mF
Діапазон вимірювання індуктивності	Від 0,1мГн – 20Гн
Діапазо вимірювання опору	До 50 МОм
Час вимірювання	Від 2 с. до 1 хв.
Точність вимірювання опору	0,1 Ом
Струм вимірювання	6 мА
Живлення	9 В
Струм в режимі очікування	20 нА

З мінусів такого приладу можна визначити такі:

- Меню додаткових функцій у приладі не доступно, а зі змін можна регулювати лише контрастність.
- Батарея живлення дорівнює 9 В, що може погано сказатися на роботі малогабаритного приладу.
- Прилад чуттєвий до всідного сигналу. Тож, якщо не розрядити конденсатор перед виміром, то може бути пробій внутрішніх елементів схеми.
- Прилад не розрахований на великогабаритні компоненти.
- Прилад не розрахований на вимір пасивного елемента – мемристора.

Вимірювання ємності конденсаторів виконане як окреме завдання, а саме – після всіх вимірів вимірюється часу зарядки. Це виконується у внутрішньому циклі програми , яка считує відповідні цифрові входи (input), поки не відключеться, і виконує рахунок кількості внутрішніх циклів програми.

У преведенного вище способу є свої обмеження, а саме: вимірювання виконується по часу, який обмежений для одного циклу. Цей процес виконується у всіх шести комбінаціях для всіх трьох вхідних виводів .

Позитивна ніжка конденсатора завжди підключена до вхідного виводу зі сторони якого підключений конденсатор з більш високим номіналом. Якщо пасивний конденсатор (C) вимірюється стоячи паралельно з діодом (VD), полярність ставиться навпаки.

Одна із ніжок конденсатора підключена до землі (GND), інша сторона конденсатора підключена через резистор до джерела живлення (V_{CC}) кроком на 10 мс. Потім випробувальний вивід буде переключений на вивід який характеризує собою високий імпеданс. Після цього, відбувається вимір напруги на конденсаторі без струму. І якщо напруга на цьому конденсаторі не досягла мінімального значення, а саме 300 мВ, імпульс зарядки буде повторюватись аж до 499 разів. Але, якщо саме після 127 імпульсів не досягнуто мінімальної напруги, в 75 мВ (за час в 2 с.), подальша зарядка буде призупинена, тому що 300 мВ не зможуть бути досягнуті подальшому вимірюванню імпульсами зарядки. На рис. 1.4 показано три фази вимірювання величини ємності конденсатора. Величина ємності обчислюється за кількістю імпульсів зарядки і величиною досягнутої напруги заряду з таблиці. Таблиця містить коефіцієнти, щоб отримати значення в нФ від часу зарядки і досягнутої напруги з кроком 25 мВ. Проміжна величина напруги буде інтерпольована.

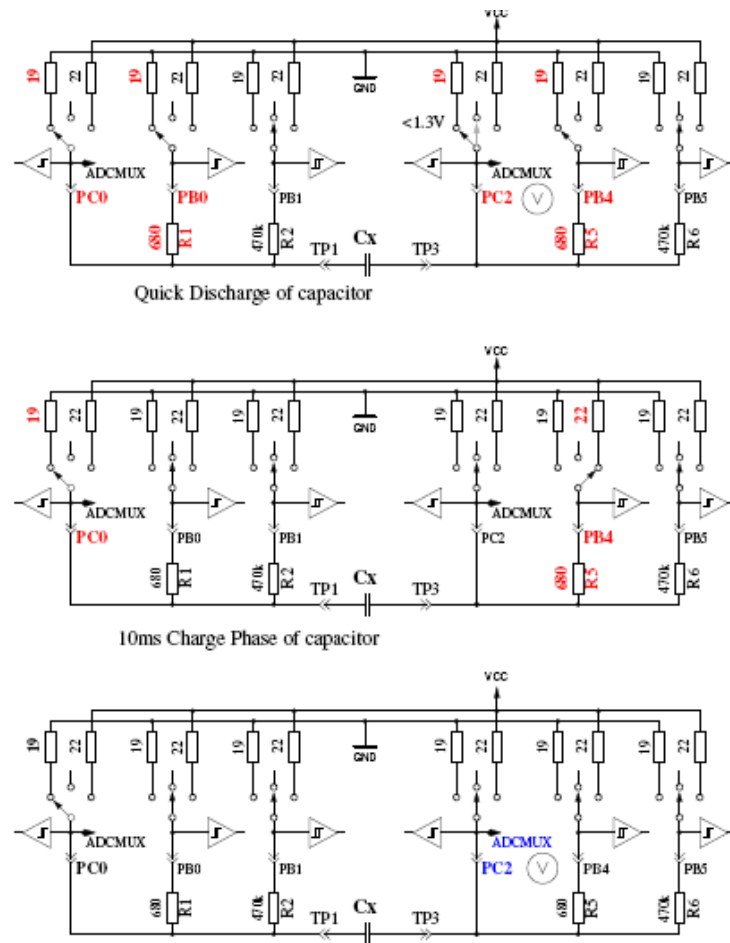


Рис. 1.4 Розрядка конденсатора і зарядка імпульсом 10 мс до напруги, що не досягає значення 300 мВ

1.2 Огляд сучасних мікроконтролерів та платформ для них

В даному пункті поставлена задача перегляду різних видів сучасних мікроконтролерів і вибору кращого типу для приладу.

У цьому пункті приведений огляд на мікроконтролерів:

- Intel.
- AVR.
- PIC.
- Arduino.
- MSP430.

Intel 8051

Intel 8051, мікроконтроллер випущений в 1980 році, який став класичним в сучасному розумінні зразком виробів даного класу. Intel 8051 - це однокристальний мікроконтролер виконаний за гарвардською архітектурою. В ньому стоїть 8-бітний чіп, який поклав початок цілому сімейству мікроконтролерів, які панували на ринку тривалий час. Більшість фірм та виробників мікроконтролерів і на сьогоднішній день випускають пристрої, базуючись на архітектурі мікроконтроллера від фірми Intel. Серед таких фірм та виробників: Atmel, Maxim, Philips, Dallas, OKI, Siemens - можна перерахувати понад півтора десятка імен. Але вже на сьогоднішній день 51-е сімейство мікроконтроллерів передає свої позиції більш молодим і досконалим сімействам мікроконтролерам.

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				15
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

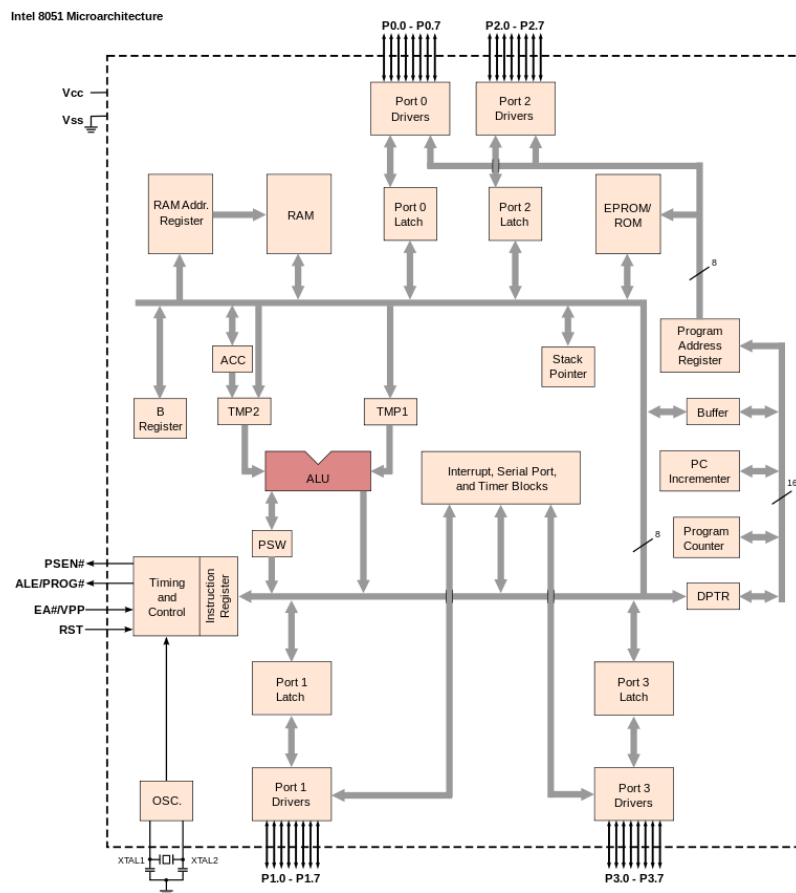


Рис. 1.5 Внутрішня логіка мікроконтролера Intel 8051



Рис. 1.6 Зовнішній вигляд мікроконтролера Intel 8051

Особливості мікроконтролера Intel 8051:

- Складається даний мікроконтроллер із процесорного ядра (CPU), також ОЗУ та ПЗУ. Має послідовний порт, паралельний порт також логіку управління переривань та таймери і т. д.

- Шина даних яка використовується в мікроконтроллері - 8-бітна шина даних. Та має змогу до обробки 8-бітних даних виконуючи лише одну операцію. Обумовлює цим свою назву - 8-бітний мікропроцесор.
- Шина адреси - 16-бітна адресна шина. Можливість доступу до 216 адресами пам'яті, тобто 64 КБ адресний простір в ОЗУ і ПЗУ.
- Вбудоване ОЗУ - 128 байт (Пам'яті даних).
- Вбудований ПЗУ - 4 КБ (Пам'яті програм).
- Чотири порти введення-виведення: один двонаправлений і три квазідвонаправлені.
- Послідовний інтерфейс UART (Універсальний асинхронний приймач).
- Два 16-бітних таймера.
- Два рівня пріоритету переривань.
- Порядку 60 тисяч транзисторів на кристалі площею 5,85 мм².
- Енергозберігаючий режим.

Спільною та значущою особливістю в сучасних 8051-сумісних сімействах мікроконтролерів стало інтегрування поліпшених і додаткових схем, таких, як:

- Автоматичне скидання по падінню напруги живлення;
- Вбудовані тактові генератори;
- Внутрішньосхемне програмування пам'яті програм;
- Автозавантажувач довготривалої пам'яті даних на основі EEPROM;
- I²C; SPI (стандарт 3-провідний послідовної шини);
- USB хост-інтерфейс;
- ШІМ-генератори; аналогових компараторів;
- АЦП і ЦАП перетворювачів;

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				17
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

- Годин реального часу;
- Додаткових таймерів і лічильників;
- Внутрішньосхемних отладчиков, додаткових джерел переривань; розширених режимів.

Самою корисною особливістю сімейства мікроконтролерів 8051-ядра - є обробка булевих значень даних (true or false), що дозволило ввести бінарну логіку, що оперує безпосередньо з бітами внутрішньої ОЗУ (області з 128 прямо-адресованих бітів) і регістрів. Дана особливість була потрібована в додатках промислової автоматики. Ще одна цінна особливість полягала в 4 незалежних наборах регістрів, які значно зменшували час затримки при обробці переривань, в порівнянні з класичним використанням стека, що застосовувався раніше.

Зробивши висновок по мікроконтролерів від Intel можна сказати, що саме ці мікроконтролери дали початок для розвитку інших галузей мікроелектроніки. Дані мікроконтролери принесли інновації в техніку нашого часу, і як було сказано вище, мікроконтролери від Intel досі використовуються в великих кампаніях по виробництву електроніки. Для розробки вимірювального приладу електронних компонентів необхідно висока потужність і ефективність. Що можуть забезпечити мікроконтролери майбутніх поколінь.

Arduino

Arduino – платформа електроніки з відкритим кодом для редагування, що заснована на простому використанні апаратному та програмному забезпеченні. Дошки Arduino здатні зчитувати вхідні дані, а саме, наприклад – світло на датчик, кнопки, або приймати повідомлення, що послале у

Twitter - і перетворювати його на вихід - активація двигуна, включення світлодіода, публікація чогось в Інтернеті та багато іншого.

Для цього ви використовуєте мову програмування Arduino та програмне забезпечення Arduino (IDE) на основі обробки даних.

Протягом багатьох років Ардуїно був мозком тисяч проектів - від предметів побуту до складних наукових інструментів

Ардуїно вперше виготовили в Інституті дизайну взаємодії Ivrea як простий інструмент для складання, редагування, виготовлення та програмування прототипів, розроблений спеціально на студентів, що не мають досвіду електроніки та програмуванні. Як тільки Ардуїно отримало більш широкої можливості через високу популярність, Arduino почала змінюватися, щоб адаптуватись до нових потреб та умов сучасних проблем електроніки, пропонуючи свої можливості від простих 8-бітних дощок до IoT-додатків, носіїв, або 3D-друку. Всі дошки Arduino є повністю з відкритим для редагування кодом, що дає можливість користувачам самостійно програмувати їх і, зрештою, адаптувати їх під їх конкретні потреби та умови електроніки.

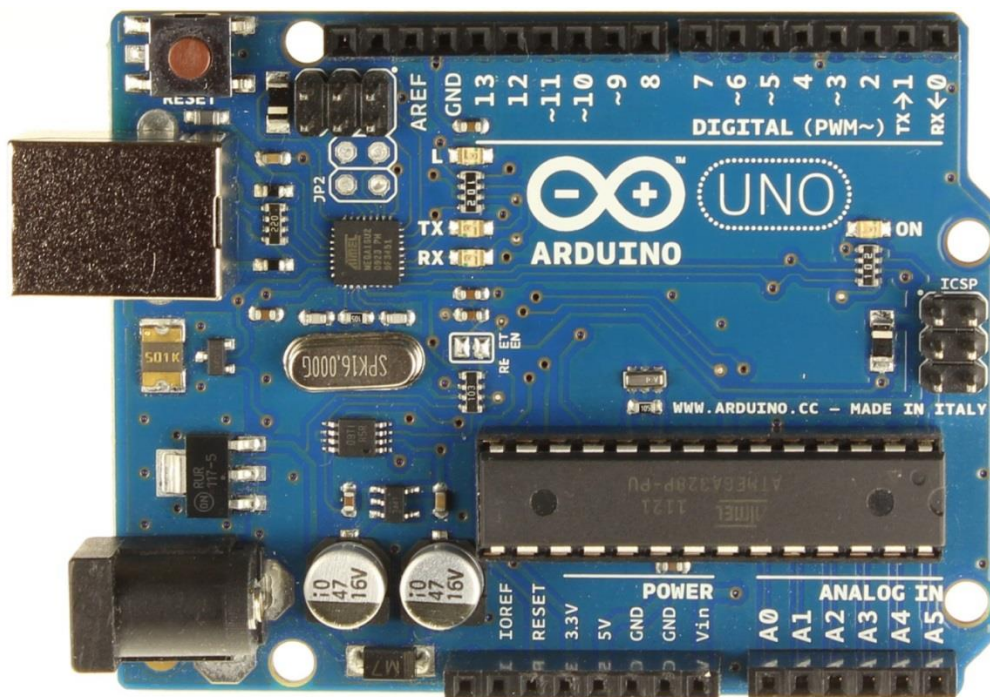


Рис.1. 7 Зовнішній вигляд плати Arduino

		Шовкоплас Д.Я.		
		Тугай С.Б.		
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

МРП.171.081.016

Лист

19

Переваги Ардуїно:

- Дані платя недорогі - плати Arduino відносно недорогі порівняно з іншими платформами, що пропонуються на ринку, мікроконтролерів. Найдешевшу версію Arduino можна придбати та зібрати власноруч, і навіть попередньо зібрані модулі Arduino коштують менше 50 доларів
- Крос-платформа - Програмне забезпечення, що пропонується в Arduino (IDE) працює на таких операційних системах, як Windows, Macintosh OSX та Linux. Більшість систем мікроконтролерів обмежені Windows.
- Просте та чітке середовище програмування - Програмне забезпечення Arduino (IDE) просте у використанні для новачків, але досить гнучко для того, щоб досвідчені користувачі також могли скористатися ними.
- Програмне забезпечення з відкритим кодом та розширюваним програмним забезпеченням - Програмне забезпечення Arduino публікується як інструменти з відкритим кодом, доступні для розширення досвідченими програмістами. Мова може бути розширена за допомогою бібліотек C ++.

Arduino випускається декількома платами:

- з мікроконтролером (англ. Boards)
- плати розширення (так звані шілди - англ. Shields).

Більшість плат з мікроконтролером включають в себе базовий набір елементів для стабільної роботи мікроконтролера, а саме: стабілізатор живлення мікроконтролера, кварцовий резонатор, ланцюжки скидання і т.д..

Мікроконтролери для Arduino відрізняються наявністю попередньо прошитого в них завантажувача (bootloader). За допомогою цього

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				20
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

програмного забезпечення користувач завантажує свою програму в мікроконтролер без використання традиційних окремих апаратних програматорів. Завантажувач з'єднується з комп'ютером через інтерфейс USB (якщо він є на платі), або за допомогою окремого перехідника UART-USB. Підтримка завантажувача вбудована в Arduino IDE.

При покупці мікроконтролера без завантажувача розробники продумали цю можливість, щоб не залишати користувачів без способу програмувати їх власні вироби, надають можливість впаяти завантажувач в мікроконтролер самостійно. Для цього в Arduino IDE вбудована підтримка декількох популярних дешевих програматорів, а більшість плат Arduino має штирьовий роз'єм для внутрішньосхемного програмування (ICSP для AVR, JTAG для ARM).

У сімействі пристроїв Arduino в основному застосовуються наступні мікроконтролери:

- Atmel
- AVR
- ATmega328,
- ATmega168,
- ATmega2560,
- ATmega32U4,
- ATtiny85 з частотою тактирування 16 або 8 МГц.

У старих виробках застосовувалися ATmega8, ATmega1280 і інші.

В рамках співпраці зі сторонніми виробниками в Arduino в його програмне забезпечення IDE була вбудована підтримка деяких апаратних засобів, таких як:

- Intel x86.
- Intel Galileo (англ.) Рос. (Процесор Intel Quark X1000 має частоту 400 МГц),

- Intel Edison (англ.) Рес. і Arduino 101 - Arduino-сумісні плати на Intel x86 архітектурі.

Плати механічно і електрично сумісні з периферійними платами Ардуїно та функціонують під власною ОС Linux, поверх якої працює додаток, що дозволяє завантажувати і виконувати скетчі Arduino.

Порти вводу-виводу мікроконтролерів оформлені у вигляді штирьових лінійок. Ніякого захисту, конвертації рівнів як правило, немає. Мікроконтролери живляться від джерел живлення на 5В або 3,3В, в залежності від моделі плати. Відповідно порти мають такий же розмах допустимих входних і вихідних напруг. Програмісту доступні деякі спеціальні можливості портів вводу-виводу мікроконтролерів, наприклад:

- широтно-імпульсна модуляція (ШИМ),
- аналогово-цифровий перетворювач (АЦП),
- інтерфейси UART, SPI, I2C.

Кількість і можливості портів вводу-виводу визначаються конкретним варіантом мікропроцесорної плати.

Крім портів на платах мікроконтролерів іноді встановлюється периферія в вигляді інтерфейсів USB або Ethernet. Опціональний набір зовнішньої периферії на модулях розширення включає в себе:

- USB Device (найчастіше як віртуальний COM порт через FTDI FT232, є також версії з емуляцією USB HID Class клавіатур і мишок).
- Бездротовий та дротовий Ethernet як на основній платі так і на платах розширення.
- Модуль GSM і інші бездротові інтерфейси.
- USB Host.
- SD card.

Модуль управління низьковольтних мотором на базі L298. Підтримуються кроковий і колекторний двигуни з напругою до 12 В і

струмом до 2А на канал. Можуть підключатися також реле, електромагніти і т.д. Модуль не має гальванічної розв'язки.

Сторонні виробники випускають широку гаму датчиків і виконавчих пристроїв, що підключаються до Arduino. Наприклад, компаси, гігрометри, термометри, манометри, гіроскопи та релейні модулі, індикатори, клавіатури і т.д.

Дану установку застосовують так само у всіх мікроконтролерах в світі, що дозволило спростити роботу по завантаженню програмного забезпечення на пряму в мікроконтролер. Будемо вважати її як доповнення до інших мікроконтролерів, і не включимо її в обговорення з вибору кращого мікроконтролера для вимірювача.

MSP430

Сімейство 16-розрядних мікроконтролерів від фірми «Texas Instruments». Таке сімейство мікроконтролерів має Фоннеймановську архітектуру (архітектура в якій отримання даних інструкцій та операція з даними не можуть відбуватися одночасно, оскільки вони мають спільну шину. Така архітектура часто обмежує продуктивність системи.), з єдиним адресним простором для команд і даних. Пам'ять може адресуватися як побайтово а також пословно. Порядок зберігання 16-розрядних слів - від молодшого до старшого (англ. Little-endian).

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				23
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

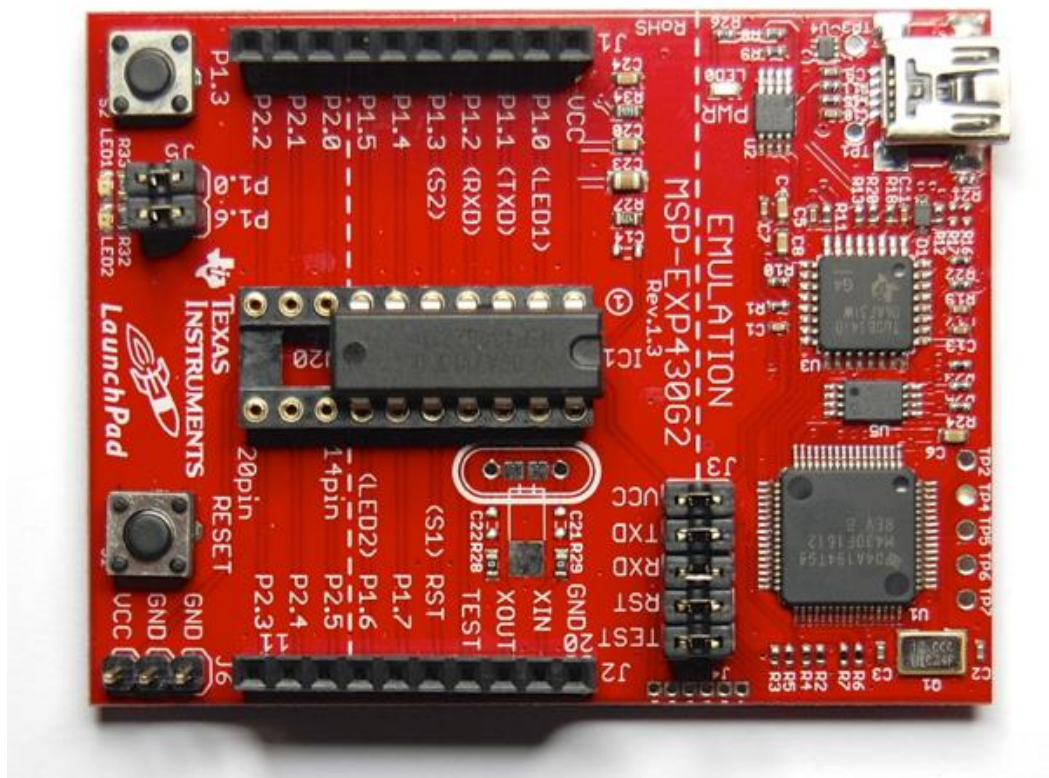


Рис. 1.8 Зовнішній вигляд мікроконтролера MSP430

Процесор містить 16 16-розрядних ортогональних регістрів:

Табл. 1.2. Перелік регістрів мікроконтролера MSP430

Регістр	Призначення
R0	Програмний лічильник
R1	Показчик стека
R2	Регістр статусу
R3	Спеціальний регістр

Генератор констант (англ. Constant Generator - CG). Регістр (R2) також може використовуватися в якості генератора констант.

Генератор констант використовується для скорочення загальної довжини команди внаслідок неявного уявлення константи в коді операції. Регістри з (R4) по (R15) використовуються як регістри загального призначення.

Даний мікроконтролер, як і було сказано вище, використовує фонмейновскую архітектуру, що має на увазі під собою що передані дані і

програмне забезпечення знаходяться в одній шині, а не окремо як надає собою гарвардська архітектура мікроконтролера. Дана архітектура не підходить для вимірювача електронних компонентів.

AVR

AVR - сімейство 8-бітних мікроконтролерів від фірми «Atmel». Мікроконтролери AVR мають за основу гарвардську архітектуру (програма і дані знаходяться в різних адресних просторах) і систему команд, яка близька до RISC.

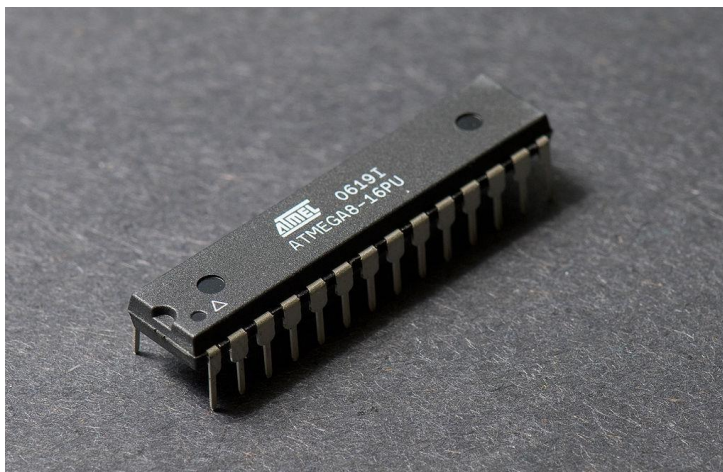


Рис. 1.9 Зовнішній вигляд мікроконтролерів AVR

Процесор AVR включає в себе 32 8-бітових регістра загального призначення, об'єднаних в регістровий файл. На відміну від RISC, регістри мікроконтролера AVR не ортогональні:

- Якісь команди працюють лише з регістрами r16 ... r31. До них відносяться команди, що працюють з безпосереднім оператором: ANDI / CBR, ORI / SBR, CPI, LDI, LDS (16-біт), STS (16-біт), SUBI, SBCI, а також SER і MULS;
- Використовуються команди, що збільшують і зменшують 16-бітне значення (в тих моделях, де вони доступні) з безпосереднім операндом

(ADIW, SBIW), працюють тільки з однією з пар регістрів: r25: r24, r27: r26 (X), r29: r28 (Y), або r31: r30 (Z);

- Використовуються команди копіювання пари регістрів працює лише із сусідніми регістрами, які починаються частково із непарного значення, таких як: (r1: r0, r3: r2, ..., r31: r30);
- Функція множення завжди розміщується в регістрах таких як: r1: r0. Також тільки ця пара використовується в якості операндів для команди самопрограмування;
- Якісь варіанти команд множення приймають в якості аргументів тільки регістри з діапазону r16 ... r23 (FMUL, FMULS, FMULSU, MULSU).

Мікроконтролери AVR мають розвинену периферію, таку як:

- Залежно від програмно-задаючої конфігурації регістрів, які можуть незалежно один від одного працювати в режимі «вищого» драйвера, що видає або приймає (на «GND») струм до 40 мА, що досить для підключення світлодіодних індикаторів та інших малоамперних пристроїв.
- Три зовнішніх джерела переривань, по фронту та зрізу, або по рівню і 32 зі зміною рівня на вході.
- Як джерело тактових імпульсів може бути обраний:
 1. Керамічний, або кварцовий резонатор;
 2. Зовнішній тактовий сигнал;
 3. Калібрований внутрішній RC-генератор (частота якого 1, 2, 4, 8 МГц, а також, для деяких моделей ATtiny - 4,8, 6.4, 9.6 МГц і 128 кГц).
- Внутрішня флеш-пам'ять команд мікроконтроллера досягає до 256 Кб, що не менше 10 000 циклів перезапису.
- Прошивання програми здійснюється за допомогою інтерфейсів JTAG або debugWIRE:

Сигнали JTAG (TMS, TDI, TDO, і TCK) мультиплексовані на порт вводу-виводу. Режим роботи – JTAG, або порту - задається відповідним бітом в регістрі (fuses).

- Внутрішня пам'ять даних EEPROM досягає до 4 КБ (ATmega / ATxmega) / 512 байт (ATtiny), що дозволяє зробити до 100 000 циклів перезапису.
- Внутрішня пам'ять SRAM до 32 Кб (ATxmega) / 16 Кб (ATmega) / 1 Кб (ATtiny) с часом доступу 2 такту.
- Зовнішня пам'ять об'ємом якої доходить до 64 КБ, в наступних моделях мікроконтролера: ATmega8515, ATmega162, ATmega640, ATmega641, ATmega1280, ATmega1281, ATmega2560, ATmega256.
- Таймери з розрядністю - 8, 16 біт.
- ШІМ-модулятор (PWM) 8-, 9-, 10-, 16-бітний.
- Має аналогові компаратори.
- Має АЦП (ADC) з диференціальними входами, розрядність якого 8 (ATtiny) / 10 (ATtiny / ATmega) / 12 (ATxmega) біт:
 1. Програмований коефіцієнт посилення перед АЦП 1, 10 і 200 (в диференціальному режимі);
 2. В якості опорної напруги можуть виступати: напруга живлення, зовнішня напруга, або внутрішнє Некалібрована опорна напруга близька 2,56 В (для моделей, що мають мінімальне напруга живлення від 2,7 В і вище) або 1,1 В (з мінімальним напругою живлення 1,8 В).
- Різні послідовні інтерфейси, вмикачі:
 1. Двухпроводний інтерфейс TWI, сумісний з I²C;
 2. Універсальний синхронно, або асинхронний приймач UART / USART;
 3. Синхронний послідовний порт Serial Peripheral Interface (SPI).
- USB серія в AT90USBxxxx.

- CAN серія в AT90CANxxx.
- LCD серії в ATmega169 і ATmega329.
- Налічує датчики температури в наступних моделях мікроконтролерів: ATtiny25, ATtiny45, ATtiny85.
- Майже всі, за винятком деяких ранніх моделей сімейства ATtiny, підтримують внутрішньосхемне програмування (ISP) через послідовний інтерфейс SPI. Багато мікроконтролерів підтримують альтернативне послідовне, або паралельне програмування з використанням високої напруги, для випадків, якщо fuse-реєстри були налаштовані так, що звичайне програмування стало недоступне.
- Підтримка самопрограмування, при якому основна програма має можливість змінювати частину свого коду.
- Вшита в програмне забезпечення підтримка завантаження основної програми за допомогою захищеної від перезапису підпрограми (bootloader). Код основної програми зазвичай приймається через один з портів мікроконтролера з використанням одного з стандартних протоколів запису.
- Має підтримку ряду режимів для зниженого енергоспоживання.

Мікроконтролер AVR має як і ряд плюсів так і ряд характеристик та параметрів, що задовольняють потреби для розробки, виготовлення та експлуатації вимірювача параметрів електронних компонентів. Далі розглянемо мікроконтролер від фірми “MicroCHIP” PIC мікроконтролери.

PIC

PIC - серія мікроконтролерів, що мають гарвардську архітектуру і вироблених американською компанією Microchip Technology Inc. Під маркою PIC фірмою Microchip випускаються 8-, 16- і 32-бітові мікроконтролери і цифрові сигнальні контролери (DSC), відмінною рисою яких є хороша спадкоємність різних сімейств: програмна сумісність (загальні засоби

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				28
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

розробки: безкоштовна IDE MPLAB, загальні бібліотеки, загальні стеки найбільш популярних протоколів передачі даних), сумісність за висновками, по периферії, по напруженням харчування. Номенклатура налічує понад 500 різних контролерів із усілякими варіаціями периферії, що відрізняються обсягами пам'яті, кількістю висновків, продуктивністю, діапазонами напруг харчування, робочими температурами і ін.



Рис. 1.10 Зовнішній вигляд мікроконтролерів PIC

Ядра 8-бітових мікроконтролерів PIC10 / 12/16 можуть бути побудовані однією з двох архітектур:

- BASELINE
- MID-RANGE.

Архітектура середнього (MID-RANGE) сімейства.

Архітектура MID-RANGE мають ядра мікроконтролерів серій PIC12 і PIC16.

Відмінні риси мікроконтролерів:

- Розрядність: 14 біт;
- Кількість підтримуваних машинних інструкцій: 35;
- Кількість виводів: від 6 до 64;
- Робота в діапазоні напруг живлення від 2.0 до 5,5 В;
- Малий струм споживання;

- Підтримка системних переривань;
- Апаратна підтримка стека;
- Наявність вбудованої flash-пам'яті для програм;
- Наявність незалежної пам'яті типу EEPROM для даних;
- Підтримка периферії (USB, SPI, I²C, USART, LCD, компараторів, АЦП і т. П.);
- Продуктивність: 5 MIPS.

Розширену архітектуру MID-RANGE мають ядра нових мікроконтролерів сімейств PIC12 і PIC16. Відмінні риси які:

- Розрядність: 8 біт;
- Кількість підтримуваних машинних інструкцій: 35 основних і 14 додаткових (оптимізованих під компілятор мови C);
- Збільшений об'єм пам'яті програм і даних;
- Більш глибокий і покращений апаратний стек;
- Додаткові джерела скидання;
- Підтримка периферійних пристроїв з модулем mTouch™ (використовується для створення сенсорних користувальницьких інтерфейсів);
- Зменшений час входу в переривання;
- Продуктивність збільшена на 50%;
- Розмір коду знижений на 40%.

1.3 Середовище для створення програмного забезпечення

Для повноцінної роботи мікроконтролерного вимірювача електронних компонентів потрібно створити програмне забезпечення, яке буде проводити обробку вхідних даних, і обчислення даних про номінали даних електронних компонентів. Дане середовище для створення програмного забезпечення для мікроконтролерів PIC надається безкоштовно фірмою MICROCHIP. Ця

програма MPLAB IDE і в ній на мові Асемблер буде написано програмне забезпечення для виміру номіналів електронних компонентів.

Про саму програму:

MPLAB IDE – інтегроване середовище для розробки програмного забезпечення саме для мікроконтролерів PIC від фірми «Microchip Technology Incorporated». Дана програма дозволяє:

- Мається можливість до спостереження за виконанням запрограмованого коду за допомогою симулятора, що вшитий у програму, або в реальному часі, використовуючи емулятор.
- Визначити за який час виконаннюється програмне забезпечення.
- Перевіряти поточні значення змінних і значення спеціальних регістрів мікроконтролера.
- Працювати з программаторами PICSTAR і PRO MATE II.
- Використовувати систему допомоги яка присутня в MPLAB IDE.

Даним програмним середовищем злегкістю можливо навчитися створювати вихідний текст програми, а також легко виконати аналіз, пошук та виправління помилок використовуючи вікно результатів компіляції, в якому зазначаються виникаючі помилки і попередження.

У програмі вихідними вузлами є:

- Початкові файли, написані на асемблері або C.
- Об'єктні файли і файли сценарію лінкера.

Зазвичай файли проекту розміщуються в тій же директорії, що і вихідні файли.

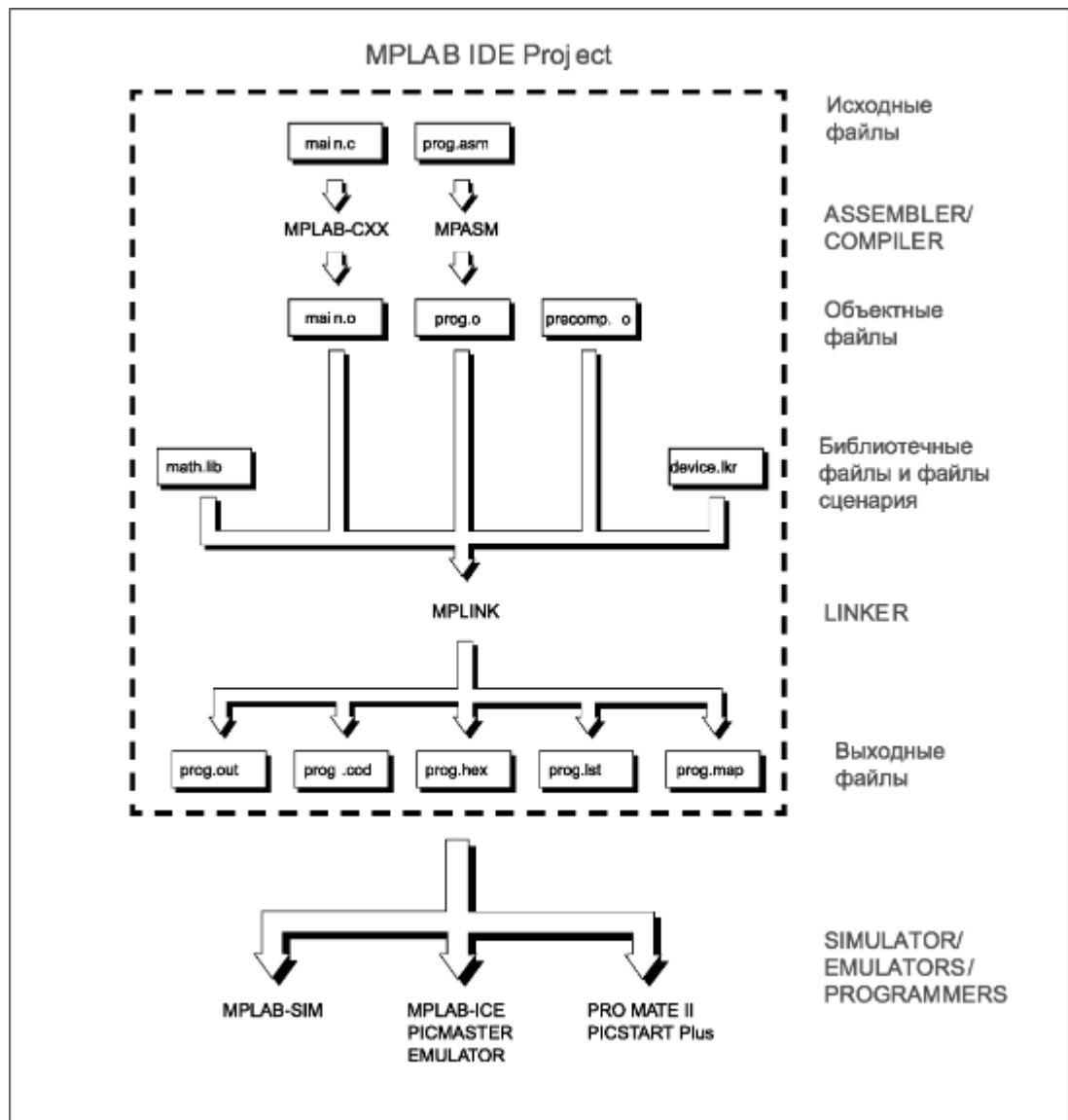


Рис. 1.11 Внутрішня логіка програми MPLAB

Також ці файли можуть містити характеристики пристрою і модель пам'яті. Деякі файли бібліотек входять до складу компілятора, інші бібліотечні файли можуть бути створені за допомогою програми MPLIB. Для генерації вихідних файлів проекту з використанням линкера MPLINK застосовуються об'єктні файли разом з файлами бібліотек і файлами сценарію. Основним результатом роботи линкера MPLINK є HEX файл, який використовується симулятором MPLAB SIM, емулятором MPLAB ICE і придатний для запису в мікроконтролер програматором.

Висновки

У огляді науково технічної літератури були приведені схеми, параметри, та можливості, за якими стверджується, що цифрові схеми на сьогоднішній день набагато ефективніші за аналогові. За тим фактом, що прилад для вимірювання електронних компонентів, побудований на цифровій схемотехніці, буде працювати більш точно та менш енергозатратно за аналогову схему.

Також у огляді приведено ряд актуальних мікроконтролерів на сьогоднішній день та розібрано який із них найбільш оптимальний для того, щоб розробити вимірювач електронних компонентів. Саме мікроконтролери фірми «MicroCHIP» найбільше підходять для технічної задачі приладу: зчитати сигнал, обробити його та вивести інформацію про номінал на дисплей. Для того, щоб обробити сигнал, у огляді приведена програма для розробки програмного забезпечення мікроконтролера, яка доступна і надається фірмою «MicroCHIP».

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				33
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Теоретичні частина

2.1 Мікроконтролер PIC16F876

Для того, щоб реалізувати вимірювач електронних компонентів, потрібно розрахувати кількість виводів, які мають бути в мікроконтролері. Опишемо всі блоки та потрібну для них кількість виводів:

Табл. 2.1 Аналіз пристрою

Призначення виводів	Кількість виводів
Блок LC вимірювання	7
Виводи на дисплей	6
Виводи для тактового резонатору	2
Вивід на перезавантаження	1
Виводи на джерело напруги	2
Блок вимірювання мемристорів	2
Блок вимірювання активного опору	1

З цього робимо висновок, що для того, щоб реалізувати вимірювач електронних компонентів потрібен мікроконтролер з 21 виводами мінімум. З мікроконтролерів, які надає фірма MicroCHIP, оптимальним є мікроконтролер PIC16F876. Це 8-ми бітний мікроконтролер виконаний за гарвардською архітектурою. Який має 28 виводів, що є задовільним для вимірювача електронних компонентів.

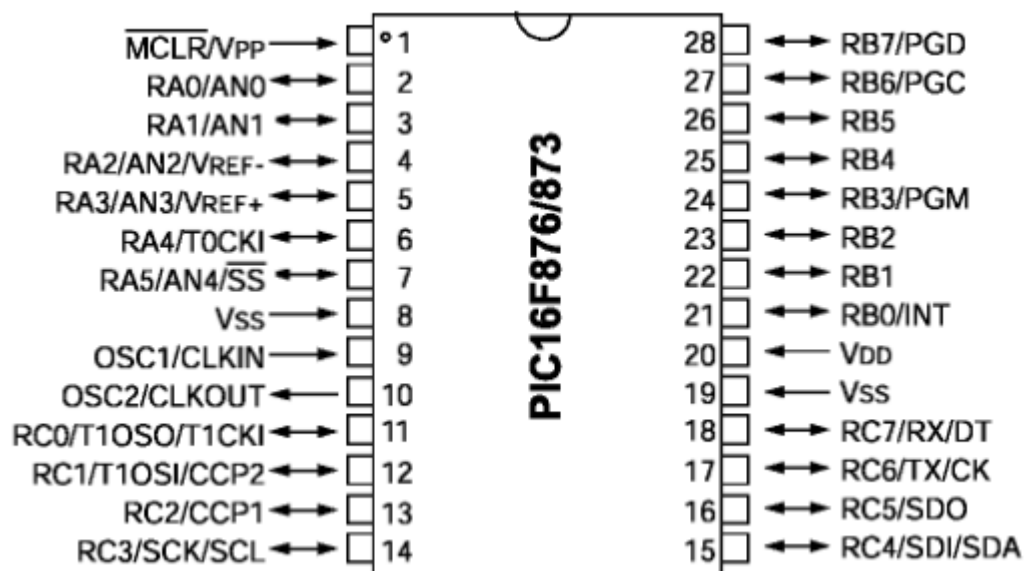


Рис. 2.1 Призначення та назва виводів для мікроконтролера PIC16F876.

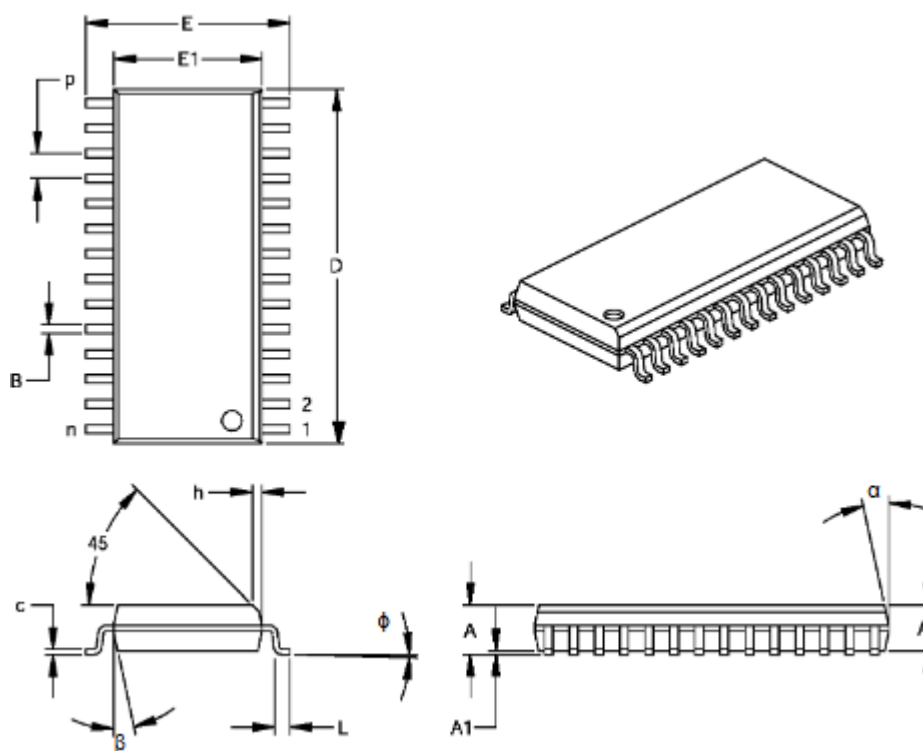


Рис. 2.2 Розміри мікроконтролера PIC16F876

Табл. 2.2 Мінімальні, номінальні та максимальні розміри
мікроконтролера

Назва розмірів	Умовне позначення	Мин . мм	Ном. мм	Макс. мм
Число виводів	n		28	
Відстань між виводами	p		1.27	
Товщина корпусу с виводами	A	2.36	2.50	2.64
Товщина корпусу	A2	2.24	2.31	2.39
Відстань між корпусом та платою	A1	0.10	0.20	0.30
Ширина корпусу з виводами	E	10.01	10.34	10.67
Ширина корпусу	E1	7.32	7.49	7.59
Довжина корпусу	B	17.65	17.87	18.08
Розмір орієнтуючої фаски	h	0.25	0.50	0.74
Довжина нижньої частини виводу	L	0.41	0.84	1.27
Кут нахилу нижньої частини виводу	φ	0	4	8
Товщина виводу	c	0.23	0.28	0.33
Ширина виводу	B	0.36	0.42	0.51
Кут фаски верхньої частини корпусу	α	0	12	15
Кут фаски нижньої частини корпусу	β	0	12	15

Опишемо призначення для кожного з виводів:

Табл. 2.3 Призначення виводів мікроконтролера

Ім'я виводу	Номер виводу	Тип виводу	Тип буфера	Опис
OSC1/CLKIN	9	I	ST/CMOS	Вхід генератора/Вхід зовнішнього тактового сигналу.
OSC2/CLKOUT	10	O	-	Вихід генератора /Вихід зовнішнього тактового сигналу.
- MCLR/V _{pp}	1	I/P	ST	Вхід скидання мікроконтролера або Вхід напруги програмування .
RA0/AN0	2	I/O	TTL	Двонаправлений порт вводу/виводу PORTA.
RA1/AN1	3	I/O	TTL	
RA2/AN2/VREF	4	I/O	TTL	
- RA3/AN3- VREF+	5	I/O	TTL	
RA4/T0CK	6	I/O	TTL	
RA5/-SS/AN4	7	I/O	TTL	
RB0/INT	21	I/O	TTL/ ST	Двонаправлений порт вводу/виводу PORTB. PORTB має програмно підключені підтягуючі резистори на входах.
RB1	22	I/O	TTL	
RB2	23	I/O	TTL	
RB3/PGM	24	I/O	TTL	
RB4	25	I/O	TTL	
RB5	26	I/O	TTL	
RB6/PGC	27	I/O	TTL/ ST	

RB7/PGD	28	I/O	TTL/ ST	
RC0/T1OSO/T1 CKI	11	I/O	ST	Двонаправлений порт вводу/виводу PORTC.
RC1/T1OSI/CCP 2	12	I/O	ST	
RC2/CCP1	13	I/O	ST	
RC3/SCK/SCL	14	I/O	ST	
RC4/SDI/SDA	15	I/O	ST	
RC5/SDO	16	I/O	ST	
RC6/TX/CK	17	I/O	ST	
RC7/RX/DT	18	I/O	ST	
V_{SS}	8,19	P	-	Загальний вивід для внутрішньої логіки і портів вводу/виводу
V_{DD}	20	P	-	Позитивна напруга живлення для внутрішньої логіки і портів вводу/виводу

Позначення: I = Вхід. O = вихід, I/O = Вхід/вихід, P = джерело, TTL = вхідний буфер, ST = вхід с тригером Шмітта.

2.1.1. Порти вводу/виводу

Деякі канали портів вводу/виводу мультипліцифровані з периферійними модулями мікроконтролера. Коли периферійний модуль включений, вивід не може використовуватися як універсальний канал вводу/виводу.

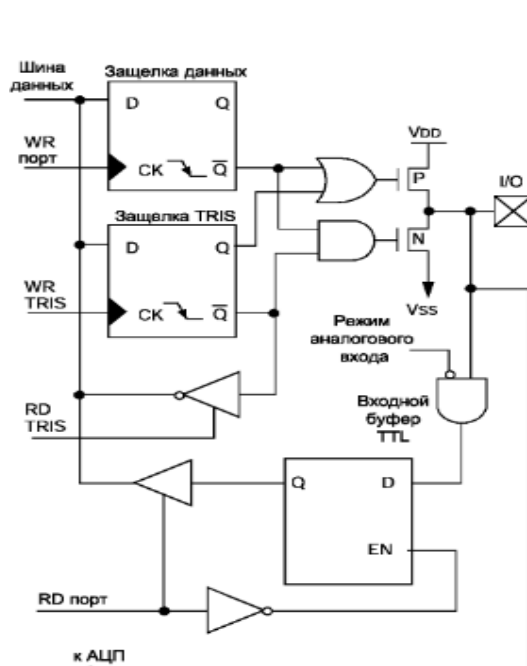
PORTA – 6-и розрядний порт вводу/виводу. Всі канали PORTA мають відповідні біти напрямку в регістрі TRISA, що дозволяє налаштовувати канал

на вхід або на вихід. Запис «1» в TRISA переводить відповідний вхідний буфер в третій стан. Запис «0» в регістр TRISA визначає відповідний канал на вихід, вміст закрилки PORTA передається на вивід мікроконтролера.

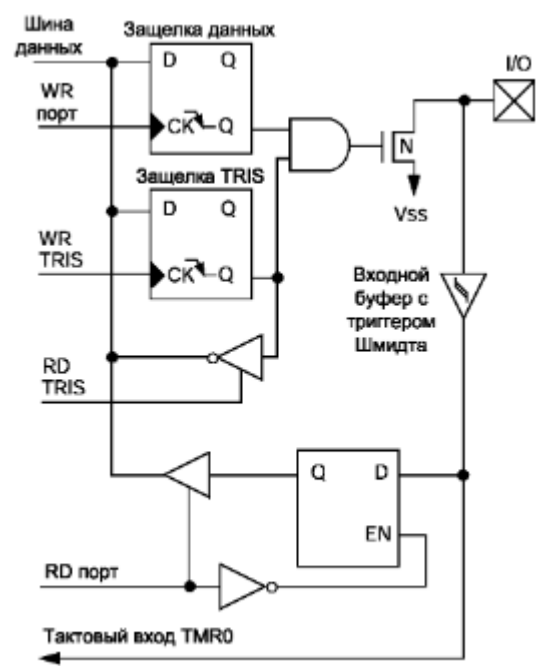
Читання регістра PORTA вертає стан на вивід порту, а запис протікає в закрилку PORTA. Всі операції запису в порт виконуються по принципу «читання-модифікація-запис». Спочатку проводиться читання стану виводів порту, а потім зміна і запис в закрилку.

RA4 – має тригер Шмітта на вході та відкритий втік на виході. Мультипліцифровані с тактовим входом T0CKI. Всі інші канали PORTA мають TTL буфер на вході і повнофункціональні вихідні буфери.

Канали PORTA мультипліцифровані с аналоговими входами АЦП і аналоговим входом джерела опорної напруги V_{REF} . Біти управління режимами роботи каналів порту вводу/виводу PORTA знаходяться в регістрі ADCON1.



а)



б)

Рис. 2.3 Структурна схема виводів а) RA3:RA0 і RA5 б) RA4/T0CKI

PORTB – 8-и розрядний двонаправлений порт вводу/виводу. Біти регістру TRISB визначають напрямлення каналів порту. Установка біту в «1» регістр TRISB переводить вхідний буфер в третій стан. Запис «0» в регістр TRISB налаштовує відповідний канал як вхід, вміст закрилки PORTB передається на вивід мікроконтролера.

Три виводи PORTB мультипліцировані зі схемою низьковольтного програмування: RB3/PGM, RB6/PGC, RB7/PGD.

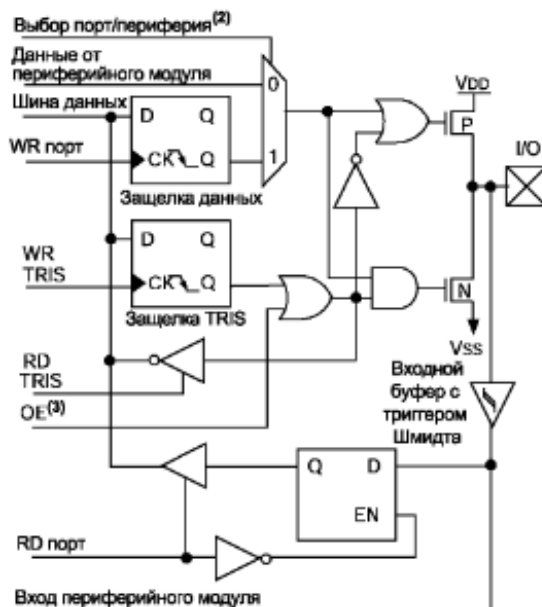
До кожного виводу порту мікроконтролера «PORTB» підключений послідовно внутрішній підтягуючий резистор (R). Біт – «RBPU» визначає, чи підключені підтягуючі резистори. Ці ж самі резистори автоматично відключаються, коли канали порту налаштовуються на вихід і після скидання по включенню живлення POR.

Чотири канали PORTB RB7:RB4, налаштовані на вхід і можуть генерувати переривання по зміні логічного рівня сигналу на вході. Якщо один із каналів RB7:RB4 налаштований на вихід - то цей же канал не може бути джерелом переривань. Сигнал на виводах RB7:RB4 порівнюється зі значенням, збереженим при останньому зчитуванні PORTB. У випадку розбіжності одного із значень встановлюється флаг на регістрі RBIF і якщо дозволено, генерується переривання.

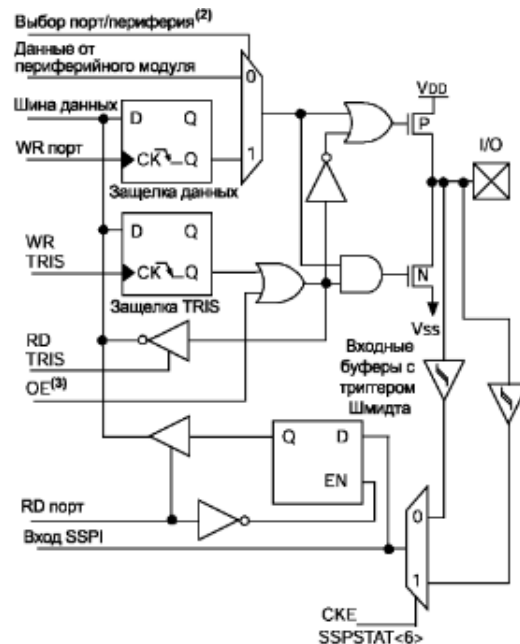
Це переривання може вивести мікроконтролер із режиму сну SLEEP. В підпрограмі обробки цих переривань необхідно зробити наступні дії:

- Виконати читання або запис в RBIF, виключив невідповідності.
- Скинути флаг RBIF в «0».

Невідповідності збереженого значення із сигналом на вході PORTB завжди встановлює біт RBIF в «1». Читання із PORTB перериває умови невідповідності і дозволяє скинути флаг RBIF в «0».



а)



б)

Рис. 2.5 Структурна схема виводів а) RC7:RC5 RC2:RC0 б) RC4:RC3

2.1.2 Тригер Шмітта

Для того, щоб перевести змінний сигнал у цифровий, у мікроконтролері використовується тригер Шмітта. Внутрішня логіка тригера Шмітта будується таким чином: якщо на тригер Шмітта подається нелінійний хаотичний сигнал, то на виході даного тригера буде ступінчастий міандр; якщо вхідний сигнал вищий за деяку межу, то на виході буде логічна одиниця, і буде вона за час надходження сигналу над верхньою межею. Вона буде при напрузі вхідного сигналу вище 4,3 В. При пересіченні нижньої межі на виході тригера буде логічний нуль. Сигнал буде в тому випадку, якщо вхідний сигнал не нижче 0,2 В.

Примітки:

1) Тригер Шмітта на вході порту застосовується тільки в випадку, якщо вивід конфігурований як вхід зовнішнього переривання.

2) Тригер Шмітта на вході застосовується тільки в режимі послідовного програмування кристала.

3) Тригер Шмітта на вході застосовується тільки якщо включений режим RC-генератора, в інших випадках як CMOS вхід.

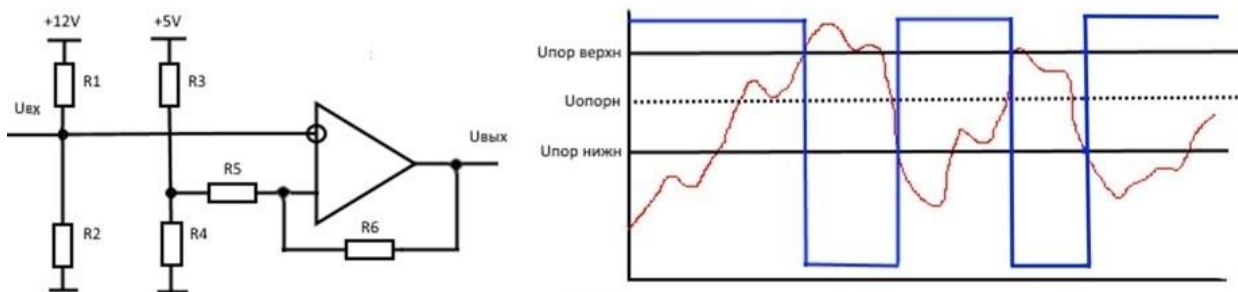


Рис. 2.8 Схема та внутрішня логіка тригера Шмітта.

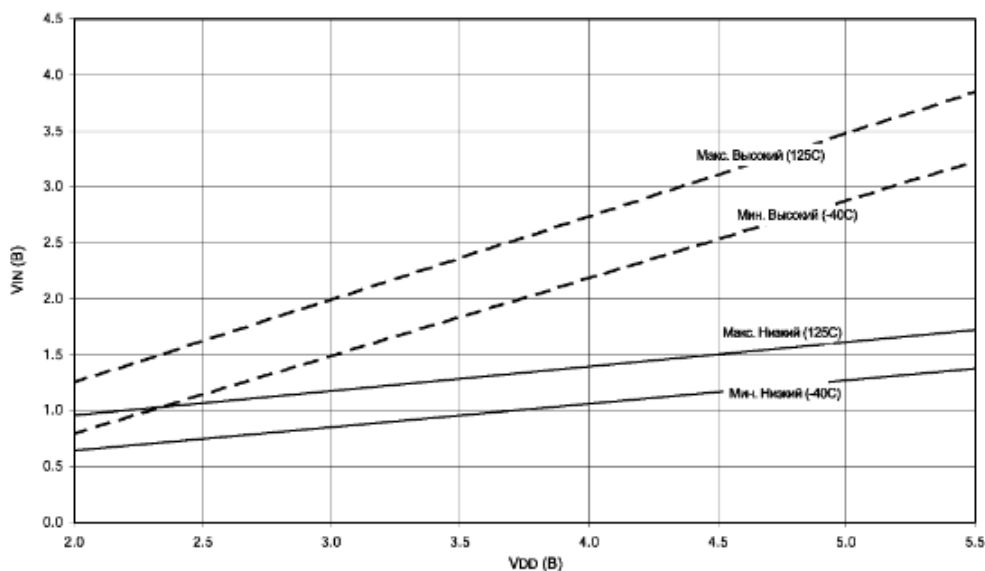


Рис. 2.7 Графік залежності мінімального та максимального значення V_{IN} від V_{DD} в вході з тригером Шмітта.

2.1.3 Основні переваги мікроконтролера PIC16F876

- Вибір тактового генератора.
- Скидання:
 - Скидання по включенню таймера (POR).
 - Таймер включення живлення (PWRT).

- Таймер запуску генератора (OSC).
- Скидання по зниженню напруги живлення (BOR).
- Переривання.
- Сторожовий таймер (WDT).
- Режим енергозбереження (SLEEP).
- Захист коду програми.
- Область пам'яті для ідентифікатора.
- Внутрішньосхемне програмування по послідовному порту (ICSP).
- Режим низьковольтного послідовного програмування.
- Режим внутрішньосхемного відкладання (ICD).

Сторожовий таймер (WDT) – таймер, який складається з апаратно реалізованої схеми контролю над зависанням системи. Являє собою таймер, який періодично скидається контрольованою системою. Може бути включений тільки в бітах конфігурації мікроконтролера. Для підвищення надійності, сторожовий таймер має власний RC генератор.

Одним із головних параметрів, за яких вибраний саме цей мікроконтролер, є те що він побудований за гарвардською архітектурою.

Гарвардська архітектура – архітектура при якій пам'ять програми і пам'ять даних розділені та мають окремі шини даних, що дозволяє використовувати паралельний доступ до різних типів даних.

Якщо скачок напруги, на виводі «-MCLR», нижче ніж V_{SS} , то це може привести до виникнення великих струмів (до 80 мА), що приведе до спрацювання закрilки. Тому треба підключити послідовно підключений резистор з опором від 50 Ом до 100 Ом, для подачі низького рівня напруги на вивід.

2.1.4 Основні параметри та характеристики мікроконтролера

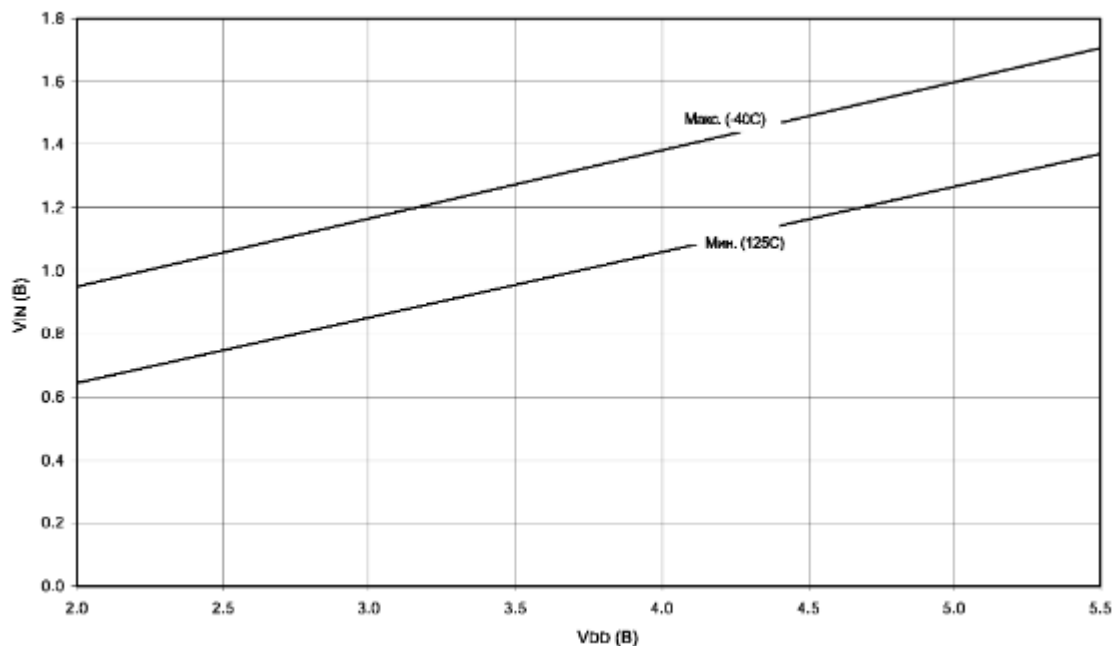


Рис. 2.6 Графік залежності мінімального та максимального значення V_{IN} від V_{DD} в TTL вході

Головним призначенням мікроконтролера у схемі – є обробка, обчислення та надання важливої інформації про номінал з мікроконтролера на дисплей схеми. Одною з переваг мікроконтролера є режим низьковольтного програмування (LVP). Цей режим дозволяє запрограмувати мікроконтролер по інтерфейсу ICSP при одному джерелі живлення. Мікроконтролер PIC16F876 має систему команд акумуляторного типу, які розділені умовно на три основні групи:

- Байт орієнтовні команди.
- Біт орієнтовні команди.
- Команди для управління та операцій з константами.

Для того щоб забезпечити оптимальну роботу мікроконтролера, в них передбачений режим енергозбереження та захист коду програми в разі раптового вимкнення мікроконтролера. В мікроконтролері PIC16F876

реалізовані ці функції для тривалої роботи приладу на основі мікроконтролера. Опишемо основні переваги мікроконтролера.

Мікроконтролери PIC16F876 мають 8-ми рівневий 13-и розрядний апаратний стек. Ці стеки не мають відображення на пам'ять програм і пам'ять даних, тому не можна записати чи прочитати дані зі стеку. Стек працює як циклічний буфер. Після 8 записів в стек, дев'ятий запис запишеться на місце першого запису, а десята замінить другий запис, і так далі.

В мікроконтролерах не передбачено команд запису/зчитування зі стеку, окрім команд виклику/повернення із підпрограм (CALL, RETUTN, RETLW, RETFIE) або умов переходу по вектору переривань.

Також в мікроконтролері передбачений роздільний захист EEPROM пам'яті даних (один біт в слові конфігурації) і захист FLASH пам'яті програми (два біти в слові конфігурації). Дані можуть бути вільно записані/прочитані із EEPROM пам'яті даних при будь якому значенні біта CPD. Коли захист EEPROM пам'яті даних включена (CPD = 0), читання забороненого зовнішнім протоколом ICSP незалежно від стану бітів захисту пам'яті програм. Це запобігає читанню EEPROM пам'яті даних мікроконтролера. Стан бітів CP0, CP1 не можна замінити командами мікроконтролера. Біти захисту не впливають на операцію внутрішнього читання пам'яті програм. Однак, стан бітів захисту и біту WRT будуть створювати різні умови запису в пам'ять програм. Встановлений захист пам'яті програми, або EEPROM пам'яті даних може біти вимкнена тільки повним стиранням пам'яті мікроконтролера, це є одним із мінусів мікроконтролера, але не суттєвим.

Додаткові два таймери виконують затримку старту роботи мікроконтролера. Перший, таймер запуску генератора (OST), затримує мікроконтролер в стан скидання, поки не стабілізується частота тактового генератора. Другий, таймер включення живлення (PWRT), спрацьовує після включення живлення і утримує мікроконтролер в стані скидання за час 72 мс,

поки не стабілізується напруга живлення. В більшості додатків ці функції мікроконтролера дозволяють виключити зовнішні схеми скидання.

Режим SLEEP у мікроконтролері призначений для забезпечення наднизького енергоспоживання. Мікроконтролер може вийти з режиму SLEEP: за сигналом зовнішнього скидання, за переповненням сторожового таймера, при виникненні переривань. Для зниження енергоспоживання в режимі SLEEP всі канали вводу/виводу повинні бути підключені до V_{DD} чи V_{SS} . При відсутності струмів із зовнішньої схеми через виводи портів, виходів модуля компараторів та джерела опорної напруги вимкнені. Виводи що знаходяться в третьому стані повинні мати високий чи низький рівень сигналу, щоб уникнути струмів переключення входних буферів. Вхід T0CKI повинен бути підключений до V_{DD} чи V_{SS} для зниження енергоспоживання. Такі умови мають бути для вмикання режиму SLEEP в мікроконтролері.

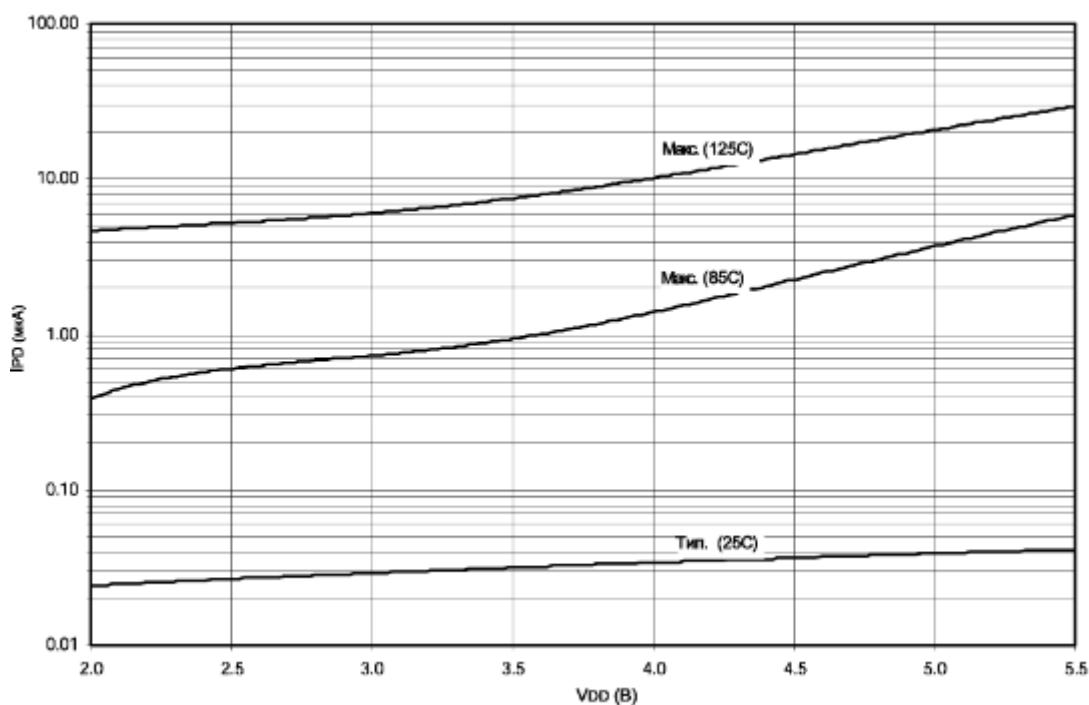


Рис. 2.9 Графік залежності струму I_{PD} від напруги V_{DD} в режимі SLEEP

Для мікроконтролерів PIC загальні характеристики описані в описі.
Приведемо детальну характеристику саме для мікроконтролера PIC16F876:

Табл. 2. 4 Характеристики мікроконтролера

Параметр	PIC16F876
Тактова частота	20 МГц
FLASH пам'ять програм	8К
Пам'ять даних (байт)	368
EEPROM пам'ять даних (байт)	256
Переривань	13
Порти вводу/виводу	Порти А, В, С
Таймери	3
Модуль захвату/порівняння/ШІМ	2
Модуль послідовного інтерфейсу	MSSP, USART
Модуль паралельного інтерфейсу	-
Модуль 10-и розрядного АЦП	5 каналів
Інструкцій	35

Електричні характеристики мікроконтролера:

Табл. 2.5 Максимально допустимі значення мікроконтролера

Параметр	Значення
Гранична робоча температура	Від -55 °С до +125 °С
Температура зберігання	Від -65 °С до +150 °С
Напруга V_{DD} відносно V_{SS}	Від -0.3 В до +7.5 В
Напруга -MCLR відносно V_{SS}	Від 0 В до + 14 В
Напруга RA4 відносно V_{SS}	Від 0 В до +8.5 В
Напруга на інших виводах відносно V_{SS}	Від -0.3 В до $V_{DD} + 0.3 В$
Розсіювальна потужність	1 Вт

Максимальний струм виводу V_{SS}	300 мА
Максимальний струм виводу V_{DD}	250 мА
Вхідний замикаючий струм I_{IK} ($V_I < 0$ або $V_I > V_{DD}$)	± 20 мА
Вихідний замикаючий струм I_{OK} ($V_O < 0$ або $V_O > V_{DD}$)	± 20 мА
Максимальний вихідний струм стоку каналу вводу/виводу	25 мА
Максимальний вихідний струм витоку каналу вводу/виводу	25 мА
Максимальний вихідний струм стоку портів вводу/виводу PORTA, PORTB	200 мА
Максимальний вихідний струм витоку портів вводу/виводу PORTA, PORTB	200 мА
Максимальний вихідний струм стоку портів вводу/виводу PORTC, PORTD	200 мА
Максимальний вихідний струм витоку портів вводу/виводу PORTC, PORTD	200 мА

Для того, щоб забезпечити оптимальну роботу приладу, на рис. 2.10 приведений графік рекомендованих значень комбінацій напруги живлення та тактової частоти мікроконтролера.

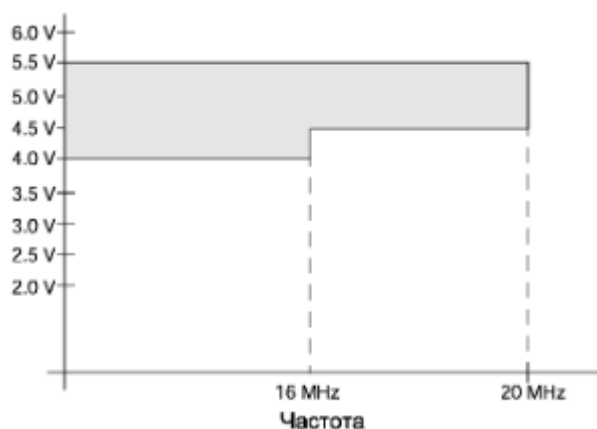


Рис. 2.10 Рекомендовані комбінації значень напруги живлення та тактової частоти для мікроконтролера PIC16F876

Параметри мікроконтролера дозволяють розробити прилад для вимірювання електронних компонентів; розробити ПО для розрахування номіналів електронних компонентів; та в подальшому виводити, ці номінали у вигляді цифрового сигналу на дисплей приладу.

В залежності від тактового генератора, можна вибрати режим роботи мікроконтролера. Вибір режиму роботи тактового генератора дозволяє використовувати мікроконтролери в різних додатках. Режим тактового генератора RC дозволяє зменшити вартість приладу. Режим LP дозволяє зменшити в мікроконтролері енергоспоживання.

Мікроконтролер PIC16F876 можуть працювати в одному із чотирьох режимів тактового генератора:

- LP – Низькочастотний резонатор.
- XT – Звичайний резонатор.
- HS – Високочастотний резонатор.
- RC – зовнішня RC ланцюг.

В режимах тактового генератора XT, LP, HS кварцовий або керамічний резонатор, на 20 МГц, підключається до виводів OSC1/CLKIN, OSC2/CLKOU, та може працювати від зовнішнього джерела тактового сигналу OSC1. В режимах роботи HS і XT потрібен послідовний резистор R_s , для запобігання збудження резонатора на низькій частоті. Для мікроконтролерів PIC16F876 потрібно використовувати резонатори з паралельним резонансом.

Резонанс струмів (паралельний резонанс) – резонанс, що відбувається в паралельному коливальному контурі при його підключенні до джерела напруги, частота якого збігається з резонансною частотою контуру.

Використання послідовних резонансів може привести до отримання тактової частоти, яка не відповідає умовам технічного завдання для вимірювача електронних компонентів. Режим роботи відповідає частоті тактового резонатора, що, в свою чергу, змінює параметри конденсаторів для різних типів резонаторів. При великій ємності збільшується стабільність генератора (RC), але збільшує час запуску приладу.

Типову роботу приладу зображено на графіках (рис. 2.11 – рис. 2.16) в різних режимах роботи тактового генератору.

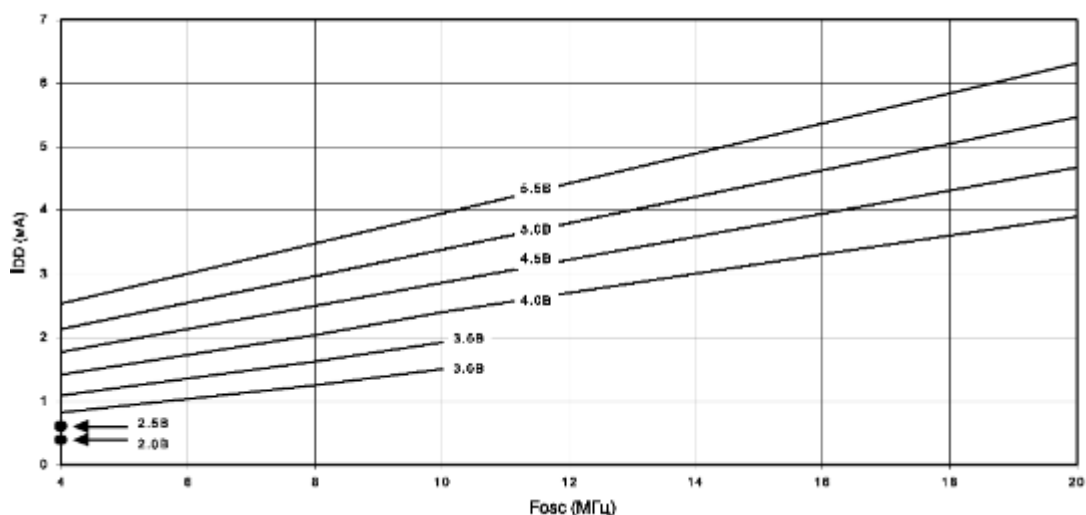


Рис. 2.11 Залежність типового I_{DD} до F_{OSC} при різних значеннях V_{DD} в HS режимі

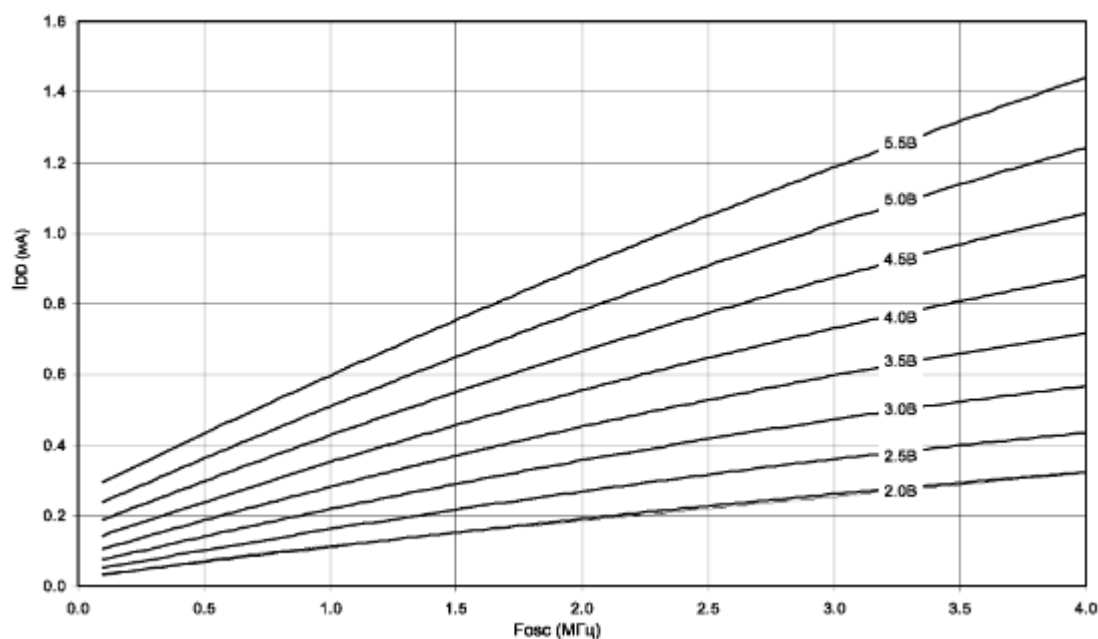


Рис. 2.12 Залежність типового I_{DD} до F_{OSC} при різних значеннях V_{DD} в XT режимі

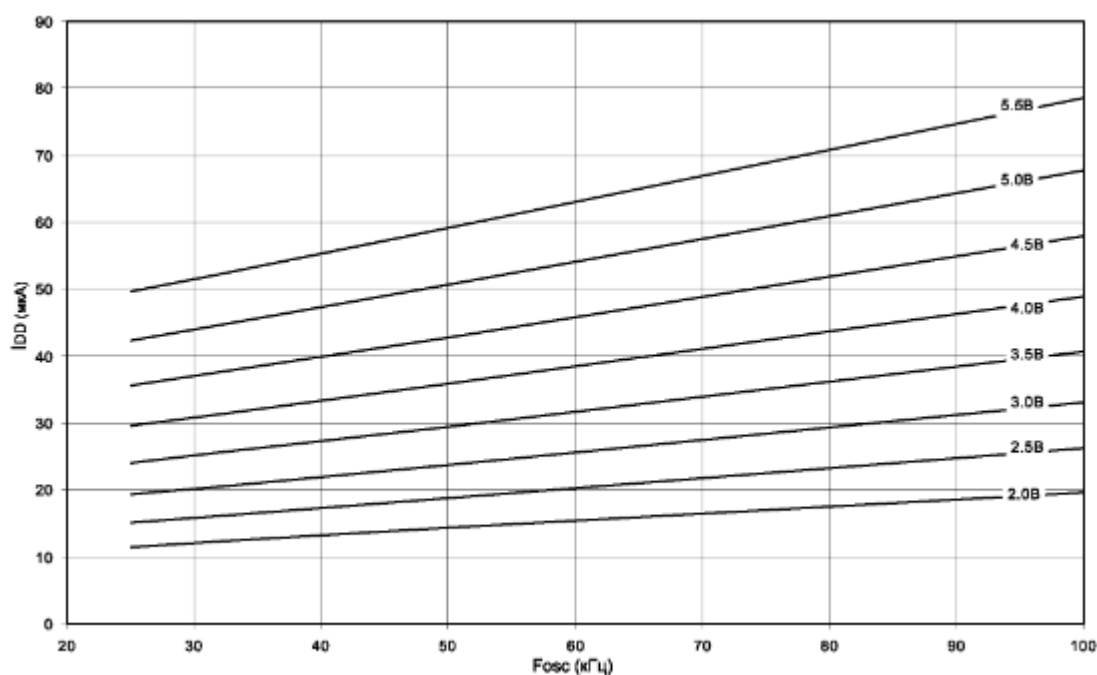


Рис. 2.13 Залежність типового I_{DD} до F_{OSC} при різних значеннях V_{DD} в LP режимі

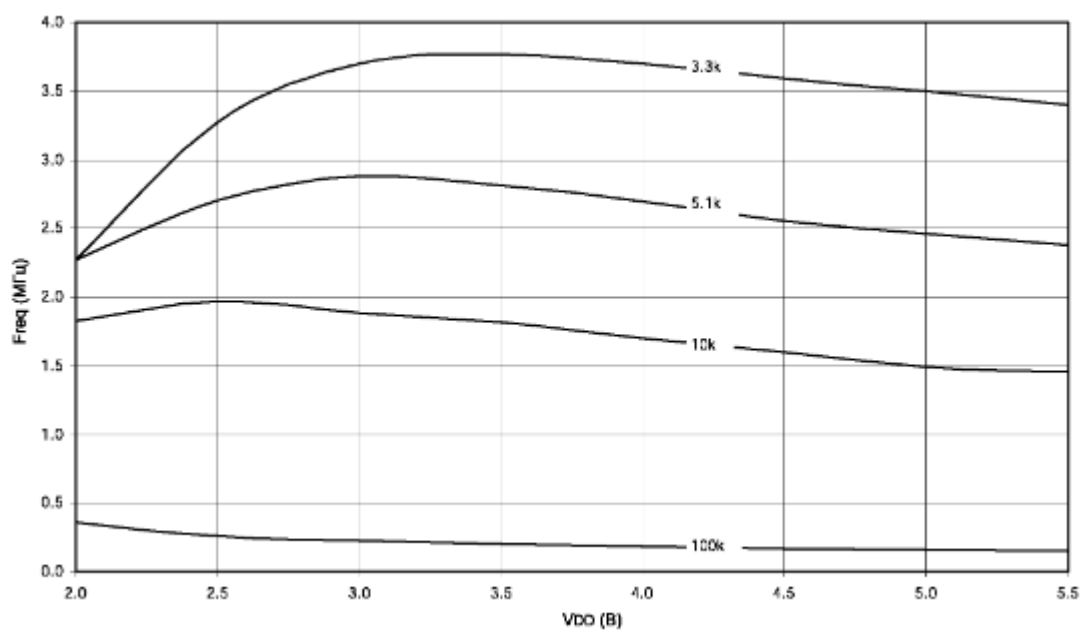


Рис. 2.14 Графік залежності F_{OSC} від V_{DD} при різних R , в RC режимі, (при $C = 20\text{пФ}$)

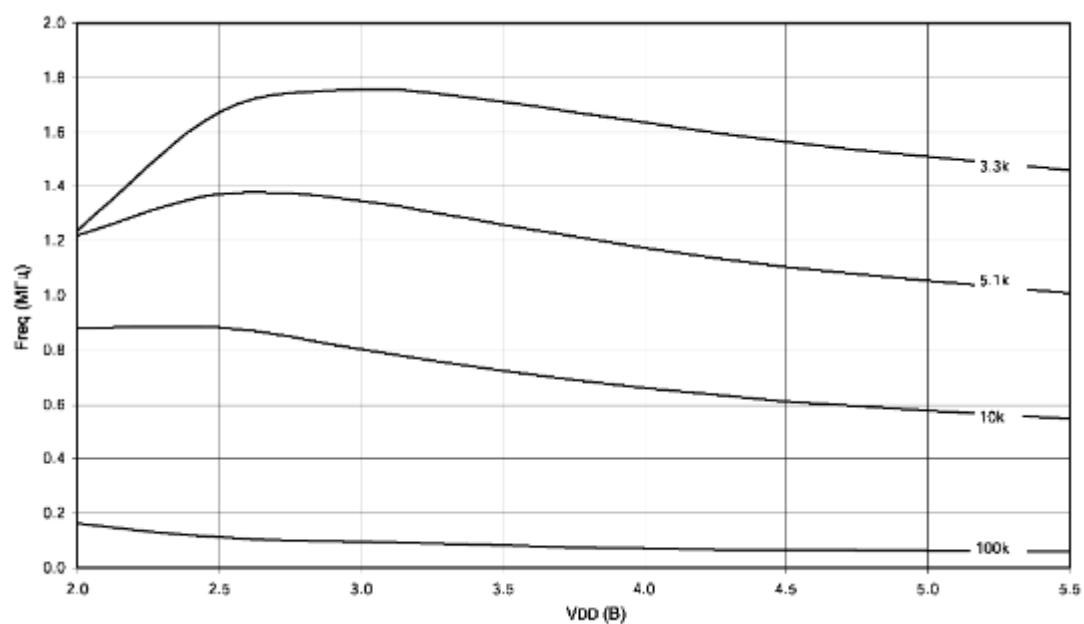


Рис. 2.15 Графік залежності F_{OSC} від V_{DD} при різних R , в RC режимі, (при $C = 100\text{пФ}$)

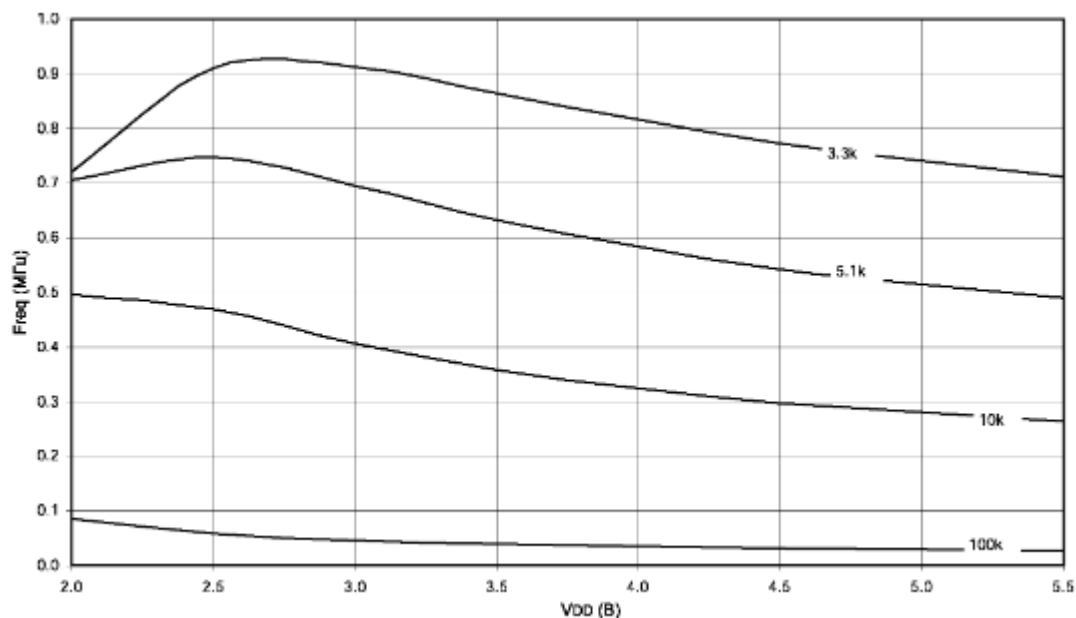


Рис. 2.16 Графік залежності F_{OSC} від V_{DD} при різних R , в RC режимі, (при $C = 300\text{пФ}$)

З графіків бачимо типову залежність I_{DD} до F_{OSC} при різних значеннях V_{DD} в режимах HS, XT та LP. Графік має лінійний характер при всій зміні V_{DD} . Максимальний струм джерела досягається в режимі LP (низькочастотний) $\approx 90\text{ мкА}$. В режимі RC (тактовий генератор реалізований за допомогою зовнішнього RC-ланцюга) бачимо, що графіки мають лавинний характер. Частота такої RC-ланки змінюється в залежності від номіналу конденсатора. Максимальна частота досягається конденсатором номіналу 20 пф.

2.1.5 Внутрішня схема мікроконтролера

Представимо внутрішню структуру мікроконтролера:

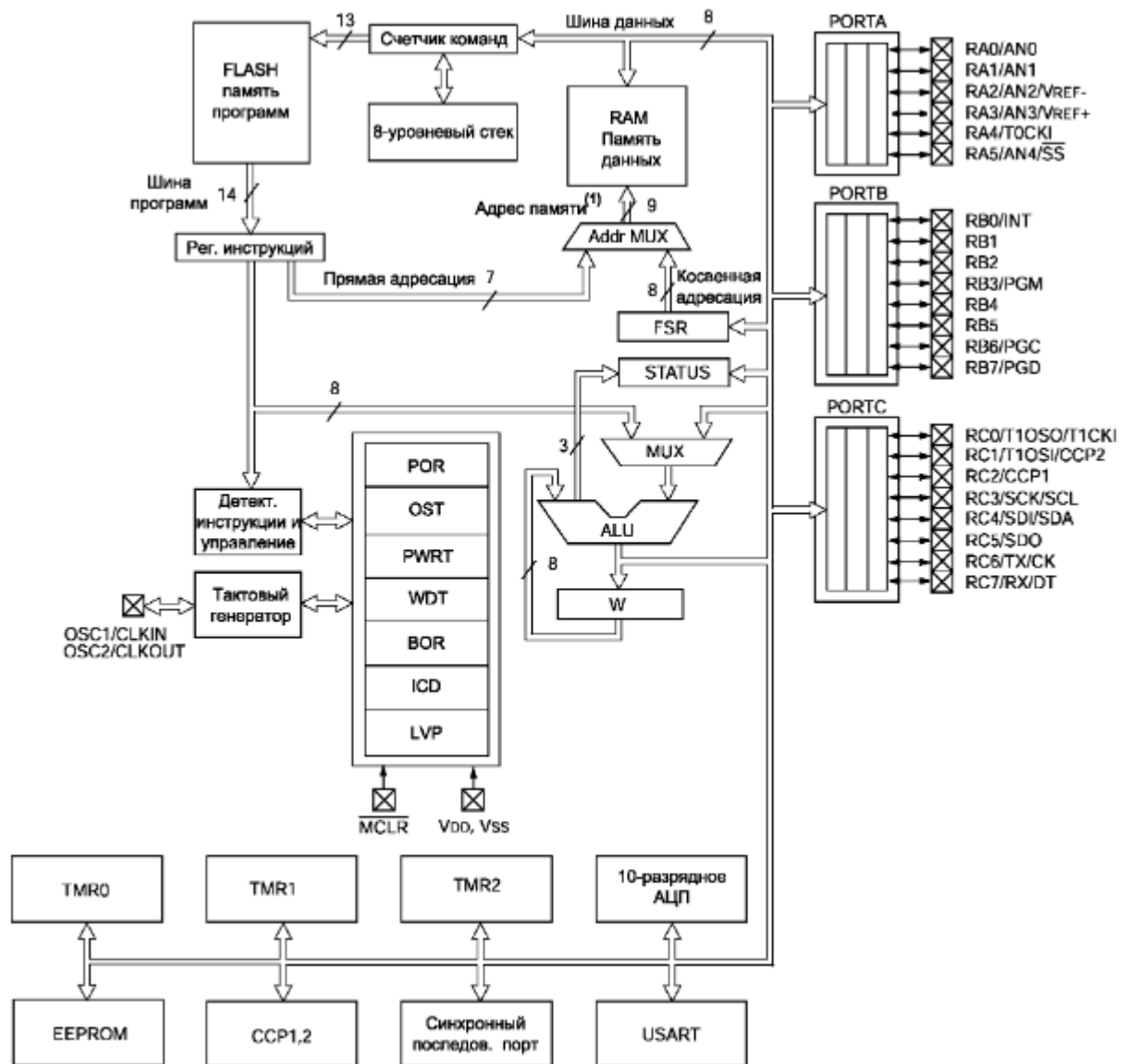


Рис. 2.17 Внутрішня структура мікроконтролера

Висока ефективність мікроконтролера досягається за рахунок архітектури ядра. Подібна архітектура зазвичай використовується в RISC мікропроцесорах.

Розглянемо архітектуру мікроконтролера:

1. **АЛП** – В мікроконтролерах PIC16F628A 9-розрядний АЛП з одним робочим регістром W. АЛП виконує арифметичні та бульові операції між

робочим регістром та будь-яким регістром пам'яті даних. Основними операціями АЛП є:

- 1) Складання .
- 2) Віднімання.
- 3) Зсув.
- 4) Логічні операції .

В командах с двома оперантами, один оперант завжди робочий регістр W, а вторинний оперант регістр пам'яті даних або константа. В командах з одним оперантом використовується регістр W або регістр даних.

Використовуючи в операціях 8-розрядний робочий регістр W, не відображується на пам'ять даних .

В залежності від виконуваної програми АЛП може впливати на наступні флаги в регістрі STATUS:

1. Флаг переносу C.
2. Флаг напівпереносу DC.
3. Флаг нуля Z.

Флаги C і DC виконують роль відповідних бітів займу при виконувани команд віднімання SUBLW і SUBWF.

2. **Енергозалежна EEPROM пам'ять даних** – передбачена для зберігання каліброваної інформації таблиць або будь-якої іншої інформації, що вимагає періодичної зміни. Дані записані в EEPROM пам'ять не будуть загублені при відключенні джерела напруги у мікроконтролері.

3. **ОЗП** – Регулярна пам'ять даних використовується для зберігання тимчасової інформації в час виконання програми. Інформація в регулярній пам'яті даних буде загублена при вимкненні мікроконтролера.

4. **Тактовий генератор** – електронний генератор, призначений для генерації електричних тактових імпульсів заданої частоти (зазвичай прямокутної форми) для синхронізації сигналів та процесів в цифрових пристроях.

5. **PWRT** – таймер для включення живлення (Power Up Timer). Мікроконтролер після подачі напруги живлення утримується в стані скидання протягом 72 мс.

6. **OST** – Таймер запуску генератора. Забезпечує затримку в 1024 такта генератора (вхід OSC1) після закінчення затримки від PWRT (якщо вона включена). Це гарантує, що частота кварцового/керамічного резонатора стабілізувалась. Затримка OST включена тільки в режимах HS, XT, LP, тактового генератора після скидання POR, BOR або виходу мікроконтролера з режиму SLEEP.

Примітка: BOR – Скидання по зниженню напруги живлення.

7. **POR** – це скидання по включенню живлення.

8. **WDT** – сторожовий таймер (watchdog timer) – апаратний механізм захисту від зависання програми. У найпростішому випадку WDT є лічильник, тактуючий системним або незалежним генератором. При переповненні лічильника схема WDT генерує сигнал скидання мікроконтролера, який призводить до його перезавантаження.

9. **Регістр STATUS** – в цьому регістрі містяться флаги АЛП, флаги скидання мікроконтролера та біти управління банками пам'яті даних.

10. **LVP** – low voltage programming. Метод програмування. У цьому режимі для програмування мікроконтролера не потрібно подавати високу напругу.

2.1.6 Організація пам'яті мікроконтролера

Мікроконтролер PIC16F876 має 13-и розрядний лічильник команд (PC), спроможний адресувати 8К x 14 слів пам'яті програм. Також фізично реалізовано FLASH пам'ять програм 8К x 14. Звертання до фізичної не реалізованої пам'яті програм приведе до адресації реалізованої пам'яті.

Приведемо організацію внутрішньої пам'яті мікроконтролера PIC16F876:



Рис. 2.18 Організація внутрішньої пам'яті мікроконтролера PIC16F876

Примітка: Сторінка 0,1,2,3 – є внутрішньою пам'яттю програми.

Пам'ять даних розділена на чотири банки, які містять регістри загального і спеціального призначення. В наступній таблиці показано стан керуючих бітів при зверненні до банків пам'яті даних (табл. 2.6). За допомогою регістрів спеціального призначення виконується керування функціями ядра та периферійними модулями мікроконтролера. Регістри спеціального призначення реалізовані як статичне ОЗП.

Табл. 2.6 Стан керуючих бітів.

RP1: RP0	Банк
00	0
01	1
10	2
10	3

Опишемо регістри спеціального призначення:

1. **Регістр STATUS** – регістр в якому зберігаються флаги:

- Стану АЛП.
- Причини скидання мікроконтролера.
- Біти управління банками пам'яті даних.

Регістр STATUS може бути адресований будь якою командою, як і будь який регістр пам'яті даних.

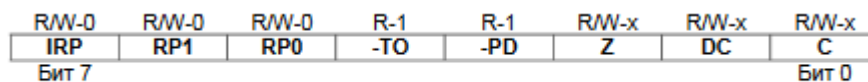


Рис. 2.19 Організація бітів в регістрі STATUS

Табл. 2.7 Перелік бітів в регістрі STATUS

Біт	Назва біту	Опис біту
7	IRP	Біт вибору банку при непрямій адресації.
6-5	RP1:RP0	Біт вибору банку при безпосередній адресації.
4	-TO	Флаг переповнення сторожового таймеру.
3	-PD	Флаг включення живлення.
2	Z	Флаг нульового результату.
1	DC	Флаг десятичного переносу/займу.
0	C	Флаг переносу/займу.

2. Регістр **OPTION_REG** – Регістр OPTION доступний для читання та запису та містить біти управління :

- Попереднім дільником TMR0/WDT.
- Активним фронтом зовнішнього переривання RB0/INT.
- Підтягуючими резисторами на входах PORTB.

R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
-RBPU	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
Бит 7							Бит 0

Рис. 2.20 Організація бітів в регістрі OPTION_REG

Табл. 2.7 Перелік бітів в регістрі OPTION_REG

Біт	Назва біту	Опис біту
7	-RBPU	Включення <u>підтягуючих</u> резисторів на входах PORTB
6	INTEDG	Вибір активного фронту сигналу на вході зовнішнього переривання INT.
5	T0CS	Вибір тактового сигналу для TMR0.
4	T0SE	Вибір фронту приросту TMR0 при зовнішньому тактовому сигналі.
3	PSA	Вибір включення <u>переддільника</u> .
2-0	PS2: PS0	Встановлення коефіцієнта ділення <u>переддільника</u> .

3. Регістр **INTCON** – регістр INTCON доступний для читання та запису, вміщає біти розширення та флаги переривання:

- Переповнення TMR0.
- Зміни рівня сигналу на виводах PORTB.
- Зовнішнє джерело переривань RB0/INT.

Примітка: Флаги переривань встановлюються при виникненні умов переривань поза залежності від відповідних бітів дозволу і біта загального дозволу переривань GIE (INTCON<7>).

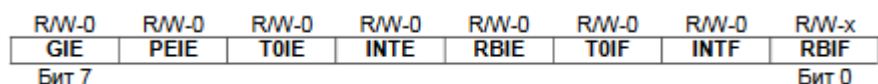


Рис. 2.21 Організація бітів в регістрі INTCON

Табл. 2.7 Перелік бітів в регістрі INTCON

Біт	Назва біту	Опис біту
7	GIE	Глобальне розширення переривань.
6	PEIE	Розширення переривань від периферійних модулів.
5	TOIE	Дозвіл переривання по переповненню.
4	INTE	Дозвіл зовнішнього переривання INT.
3	RBIE	Дозвіл переривання по зміні сигналу на входах RB7:RB4 PORTB.
2	TOIF	Флаг переривання по переповненню TMR0.
1	INTF	Флаг зовнішнього переривання INT.
0	RBIF	Флаг переривання по зміні рівня сигналу на входах RB7:RB4 PORTB.

4. **Регістр PIE1** – Регістр PIE1 доступний для читання та запису, а також містить біти дозволу периферійних переривань.

Примітка: Для того щоб дозволити периферійне переривання необхідно встановити в «1» біт PEIE(INTCON<6>).

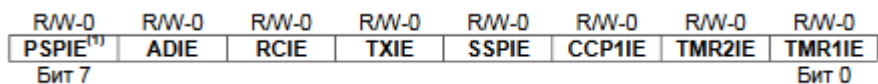


Рис. 2.22 Організація бітів в регістрі PIE1

Табл. 2.8 Перелік бітів в регістрі PIE1

Біт	Назва біту	Опис біту
7	PSPIE	Не реалізований.
6	ADIE	Дозвіл переривання по закінченню перетворення АЦП.
5	RCIE	Дозвіл переривання від приймача USART.
4	TXIE	Дозвіл переривання від передавача USART.
3	SSPIE	Дозвіл переривання від модуля синхронного послідовного порту.
2	CCP1IE	Дозвіл переривання від модуля CCP1.
1	TMR2IE	Дозвіл переривання за переповненням TMR2.
0	TMR1IE	Дозвіл переривання за переповненням TMR1.

5. Регістр **PIR1** – Регістр доступний для читання та запису, містить флаги переривання периферійних модулів.

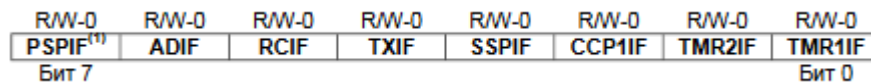


Рис. 2.23 Організація бітів в регістрі PIR1

Табл. 2.9 Перелік бітів в регістрі PIR1

Біт	Назва біту	Опис біту
7	PSPIF	Не реалізований.
6	ADIF	Флаг переривання від модуля АЦП.
5	RCIF	Дозвіл переривання від приймача USART.
4	TXIF	Дозвіл переривання від передавача USART.
		Флаг переривань від модуля MSSP. Умови виконання переривання:

3	SSPIF	<ul style="list-style-type: none"> • SPI – Виконана приймання/передача даних. • Відомий I2C – Виконана приймання/передача даних. • Ведучий I2C : <ul style="list-style-type: none"> - Виконана приймання/передача даних. - Завершено формування на шині біту START. - Завершено формування на шині біту STOP. - Завершено формування на шині біту повторний START. - Завершено формування на шині біту підтвердження. - Виявлено на шині формування біту START. - Виявлено на шині формування біту STOP.
2	CCP1IF	Флаг переривання від модуля CCP1.
1	TMR2IF	Флаг переривання за переповненням TMR2.
0	TMR1IF	Флаг переривання за переповненням TMR1.

6. **Регістр PIE2** – Регістр доступний для читання та запису, містить біти:

- Дозволу переривань від модуля CCP2.
- Винекнення колізій ні шині.
- Закінчення запису в EEPROM пам'ять даних.

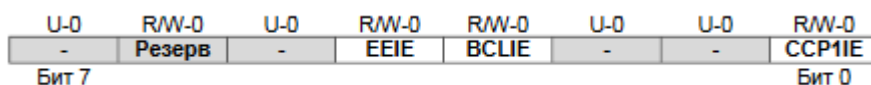


Рис. 2.24 Організація бітів в регістрі PIE2

Табл. 2.10 Перелік бітів в регістрі PIE2

Біт	Назва біту	Опис біту
7	-	Не реалізований, читається як «0».
6	Резерв	Завжди має дорівнювати «0».
5	-	Не реалізований, читається як «0».
4	EEIE	Дозвіл переривання по закінченню запису в EEPROM даних.
3	BCLIE	Дозвіл переривання при виникненні колізій на шині даних.
2-1	-	Не реалізований, читається як «0».
0	ССР2IE	Дозвіл переривання від модуля ССР2.

7. Регістр PIR2 – Регістр доступний для читання та запису, містить флаги:

- Переривань від модулю ССР2.
- Виникнення колізій на шині.
- Закінчення запису в EEPROM пам'ять даних.

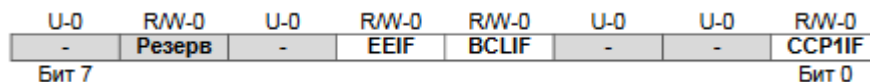


Рис. 2.25 Організація бітів в регістрі PIR2

Табл. 2.11 Перелік бітів в регістрі PIR2

Біт	Назва біту	Опис біту
7	-	Не реалізований, читається як «0».
6	Резерв	Завжди має дорівнювати «0».
5	-	Не реалізований, читається як «0».
4	EEIF	Флаг переривань по закінченню запису в EEPROM даних.
3	BCLIF	Флаг переривань при виникненні колізій на шині даних.

2-1	-	Не реалізований, читається як «0».
0	ССР2IF	Флаг переривань від модуля ССР2.

8. **Регістр PCON** – Регістр містить флаги, за допомогою яких можна визначити джерело скидання мікроконтролера:

- Скидання по включенню живлення (POR).
- Скидання по сигналу на ввіді –MCLR.
- Скидання по переповненню сторожового таймера WDT.
- Скидання по виявленні зниження напруги живлення BOR.

Примітка: При включенні джерела, біт BOR має непередбачуване значення і не повинен враховуватись. Біт BOR призначений для виявлення наступних скидань мікроконтролера при зниженні напруги джерела. Стан біту BOR також непередбачуване. Якщо робота детектора пониженої напруги заблокована в бітах конфігурації при програмуванні мікроконтролера (BODEN=0).

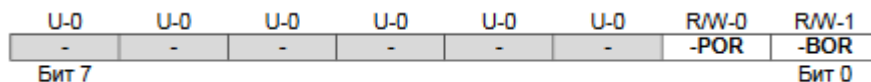


Рис. 2.26 Організація бітів в регістрі PCON

Табл. 2.12 Перелік бітів в регістрі PCON

Біт	Назва біту	Опис біту
7-2	-	Не реалізований, читається як «0».
1	-POR	Флаг скидання при включенні живлення.
0	-BOR	Флаг скидання по зниженню напруги живлення.

Позначення: R – Читання біту, W – Запис біту, U – Не реалізовано, читається як 0, -n – значення після POR, -x – невідоме значення після POR.

Об'єм банків пам'яті даних до 128 байт (7Fh). На початку банку розміщуються регістри спеціального призначення, потім регістри загального призначення, виконанні як статичні ОЗУ. Всі реалізовані банки мають регістри спеціального призначення. Іноді, часто використовуванні регістри спеціального призначення можуть відображатися і в інших банках пам'яті.

Всі команди виконуються в єдиному машинному циклі, окрім команд умови, в яких отриманий істинний результат і інструкції змінюючих значення лічильника команд РС (лічильник команд).

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		66

2.2 Мемристор

2.2.1 Основна теорія

Мемристор – це четвертий пасивний елемент електричних схем, який безпосередньо пов'язує між собою магнітний потік та заряд.

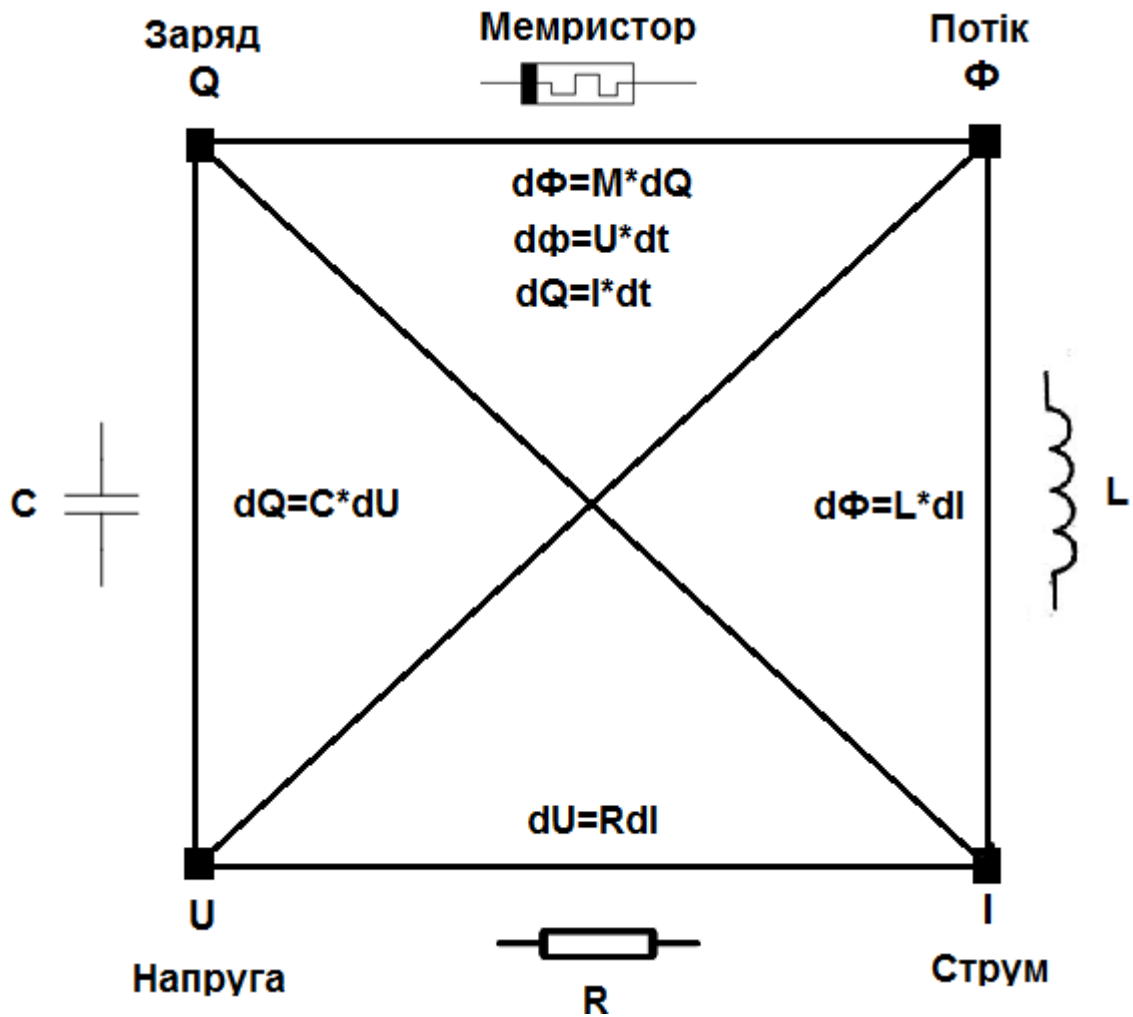


Рис. 2.27 Схема пасивних елементів в електроніці

Мемристор – це двохконтактний пристрій, а значить мемристор можна інтегрувати в багат шарові матриці взаємно перпендикулярних металевих нанодротів. Його архітектура істотно більш компактна в порівнянні з сучасними напівпровідниковими кремнієвими процесорами, до того ж логіка управління такою матрицею пересічних нанодротів істотно простіша.

Тобто мемристор – це елемент, властивості якого залежать від прикладеної раніше сили. Опір мемристора залежить від пропущеного через нього заряду, що дозволяє використовувати його як елемент пам'яті. Мемристор запам'ятовує останнє значення опору. Принципова і головна відмінність мемристора від більшості типів сучасної напівпровідникової пам'яті полягає у тому, що він не зберігає свої властивості у вигляді заряду.

У мемристорі не властиві витоки заряду при записі, тим самим можна сказати, що він повністю енергонезалежний. Мається на увазі, що інформація записана у мемристор може зберігати цифрову інформацію декілька десятків років. Тривалість зберігання інформації залежить від матеріалу мемристора. Перш ніж порівнювати мемристор з іншими пристроями для зберігання інформації, назовемо пристрої для зберігання інформації:

Зовнішній жорсткий диск – може мати максимальний термін служби в 10 років. Негативний вплив на працездатність і, відповідно, швидкий знос накопичувача, надає присутність зайвої вологи в навколишньому середовищі, зовнішні впливи і потужні магніти, які можуть знаходитися недалеко від пристрою. Внутрішній жорсткий диск, при цьому, має термін служби від 5 до 10 років, в залежності від його розміру та робочого стану. Термін експлуатації залежить від нагрівання, що виникає під час роботи, і від того, наскільки добре чи погано від накопичувача відводиться тепло.

Флешка – (при відсутності несправностей і пошкоджень) здатна зберігати дані протягом семи або навіть восьми років. Якщо говорити про твердотільні накопичувачі (SSD), то орієнтовний термін їх служби складає 9-10 років. Але насправді флеш-накопичувач може прослужити і більше десятиліття. SSD-накопичувачі більш стійкі до впливу тепла і магнітів, ніж традиційні жорсткі диски. Зашкодити цьому сучасному накопичувачу може тільки досить потужний магніт.

В порівнянні з цими цифровими сховищами пам'яті, мемристор має набагато довший час життя.

Завдяки цьому можна винайти нову технологію – мемристорну. За допомогою цієї мемристорної технології можна спроектувати комп'ютерну техніку нового покоління, яка буде перевершувати комп'ютери в таких параметрах, як: швидкодія, енергоефективність, здатність оброблювати великі потоки та об'єми інформації. Також мемристорна технологія широко використовується в робототехніці. Мемристор можна використовувати в якості біполярного ключа, елемента пам'яті або складової частини логічного елемента.

Також поведінка мемристора в точності відповідає поведінці одиничного синапсу – контакту між нейронами в мозковій тканині. Це і дозволяє говорити про можливість застосування мемристорів для побудови розгалужених матричних обчислювальних елементів, що імітують роботу головного мозку. У головному мозку нейрони служать «проводами», за якими нервові імпульси передаються від однієї клітини до іншої, з'єднання ж між окремими нейронами здійснюються за допомогою синапсів, які володіють різною за величиною проникністю і можуть передати інший за величиною імпульс далі по нервовому ланцюгу. Тут нейрони можуть бути виготовлені на основі традиційної комплементарної логіки на транзисторах метал-оксид-напівпровідник (CMOS), а мемристори можуть грати роль синапсів. Тільки наявність матричної структури (тобто можливість прямої передачі інформації між великою кількістю нейронів), і, по суті, аналоговий тип перемикання мемристорів, дозволить максимально наблизитися до штучної реалізації нейронних ланцюгів. В цьому відношенні мемристори на сьогоднішній день є унікальними, та їх застосування для створення систем з логікою обчислень, відмінною від системи з двійковим кодом, бачиться дуже перспективним.

2.2.2 Характеристика мемристора

Нелінійність вольт-амперної характеристики мемристора, її гістерезис, дозволяє побудувати осередок пам'яті на матричних схемах пересічних нанодротів, без так званих транзисторів доступу, які використовуються в сучасній архітектурі запам'ятовуючих флеш-пристроїв. У зв'язку з цим, щільність пам'яті, кількість інформації на одиницю площі пристрої, по суті, визначається розмірами цих самих нанодротів.

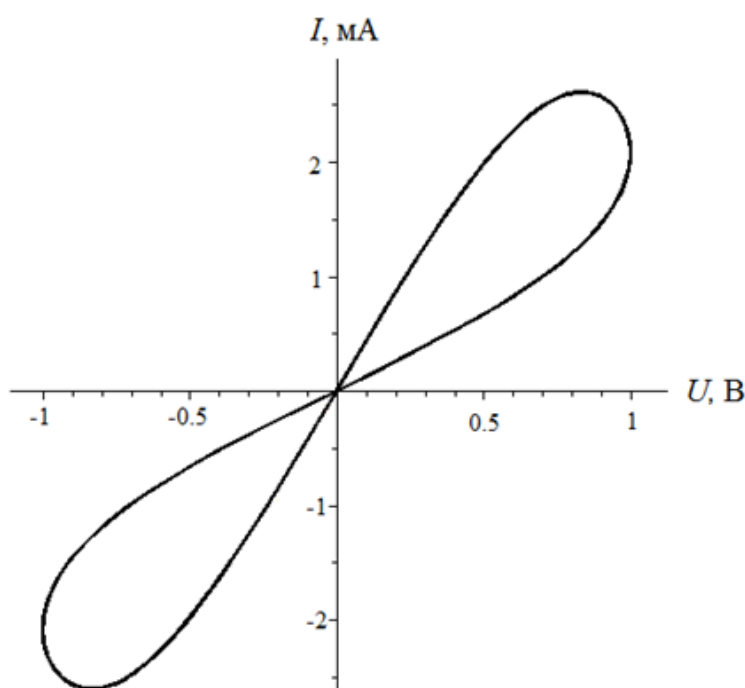


Рис. 2 28 Ідеальний ВАХ мемристора

Прийнято також характеризувати гістерезис мемристорів співвідношенням опорів $(\frac{R_H}{R_L})$, де $R = U_R/I_R$. Іншою (класичною) характеристикою являється «гістерезисність», дорівнююча співвідношенню площі петлі гістерезису до площі описаного довкола неї прямокутника. При ідеальному гістерезисі, «гістерезисність» прагне до одиниці.

Для використання мемристорів в якості елементів пам'яті, використовують просту структуру паралельних провідників шириною 50 нм,

які пересікаються с іншим набором нанопровідників. В Hewlett Packard очікують довести щільність «мемристивної» пам'яті до 20 Гбайт/см², що буде в два рази більше, ніж щільність флеш-пам'яті.

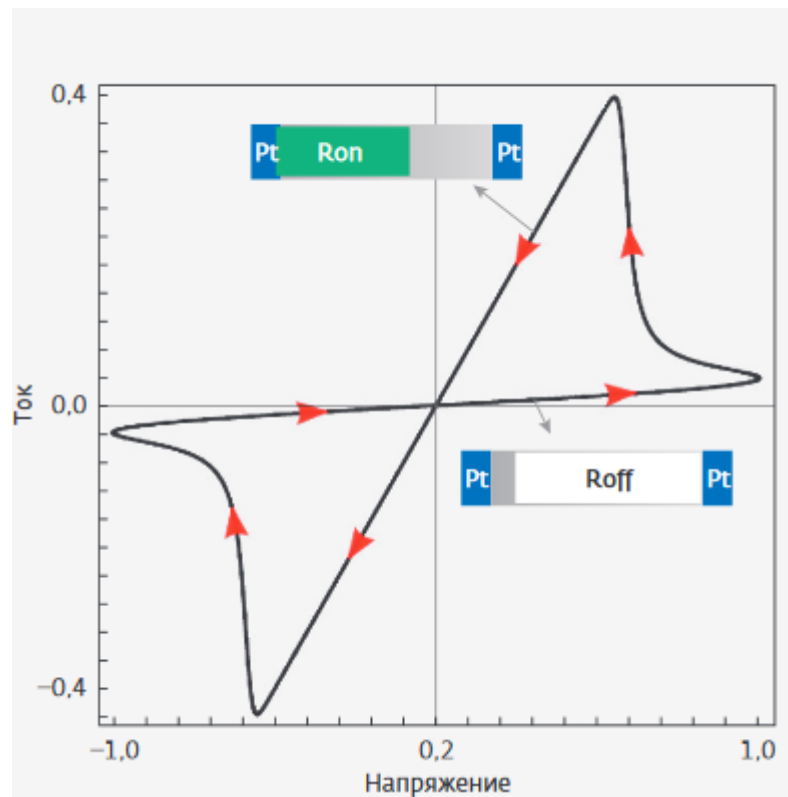


Рис . 2.29 Експериментальний ВАХ мемристора

Таким чином, ВАХ мемристора має наступні основні особливості:

- При пропущенні через мемристор біполярного періодичного струму або напруги, ВАХ має гістерезисний характер (типу фігури Лиссажу незалежно від будь-яких початкових умов). Важливо відзначити, що природа гістерезиса – внутрішня властивість мемристора, а не вимірювального ланцюга [2].
- При збільшенні частоти періодичного сигналу амплітуда гістерезису зменшується і форма ВАХ вироджується в пряму лінію, нахил якої залежить від амплітуди напруги сигналу [2].

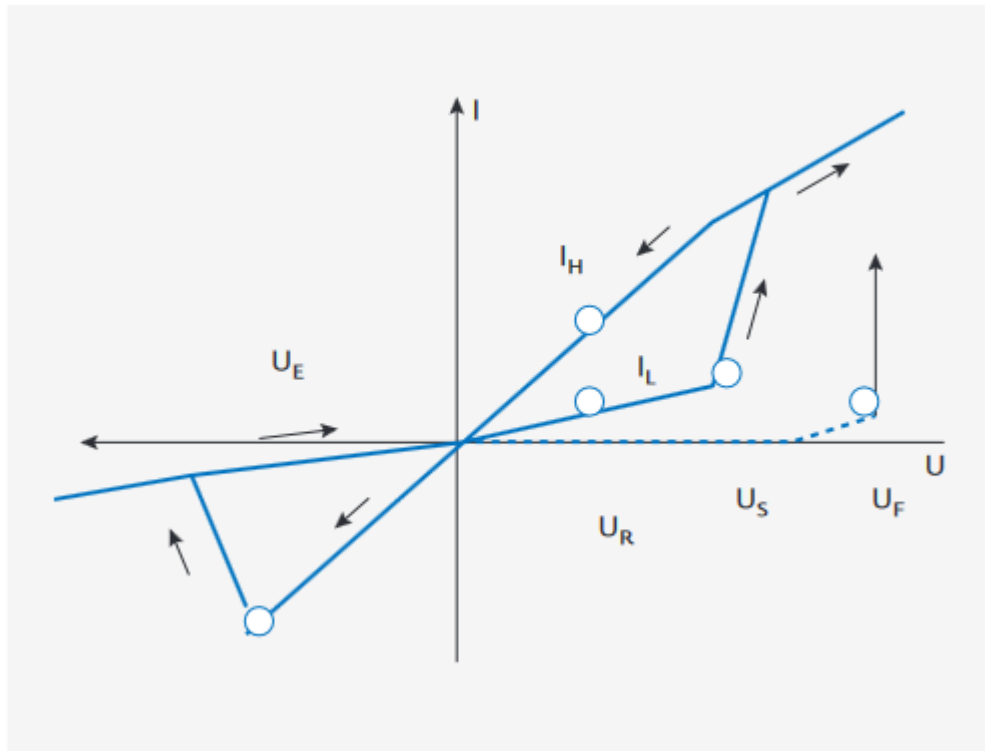


Рис. 2.30 Спрощена ВАХ мемристора із визначеними точками

Де, U_F – Напруга «формування».

U_W – Напруга установки (запису).

U_R – Напруга зчитування.

U_E - Напруга відновлення (стирання) .

Керуючим напругам відповідають протікаючі через прилад струми, причому при напрузі зчитування U_R необхідно вимірювати два струми: струм в стані з низькою провідністю (I_L) і струм в стані високої провідності (I_H). Їхнє ставлення (яке дорівнює відношенню проводимостей) визначає гістерезисну властивість пристрою (відмінність станів).

2.2.3 Дослідження мемристорів

Проведені дослідження показали, що мемристивний ефект спостерігається у великому класі матеріалів на основі оксидів, таких як: MgO , TiO_x , ZrO_x , HfO_x , VO_x , NbO_x , TaO_x , CrO_x , MoO_x , WO_x , MnO_x , FeO_x ,

CoO_x, NiO_x, CuO_x, ZnO_x, AlO_x, GaO_x, SiO_x, SiO_xN_y, GeO_x, SnO_x, BiO_x, SbO_x.
Оксидів рідкоземельних металів: Y, Ce, Sm, Gd, Eu, Pr, Er, Dy, Nd.
Першооксидів :SrTiO₃, Ba_{0,7}Sr_{0,3}TiO₃, SrZrO₃, BiFeO₃. Та в нітридах, наприклад, таких як AlN.

Опишемо оптимальні параметри мемристора:

Табл.2.13 Параметри мемристора

Параметр	Умовне позначення	Необхідний для RRAM
Розміри (площа)	S	<50*50
Напруга формування	U _F	-
Напруга запису, В	U _W	1-5
Напруга стирання, В	U _E	1-5
Напруга зчитування, В	U _R	0,1-0,5
Добротність (Відношення опорів)	R _H /R _L	>1000
Час запису, нс	t	>5

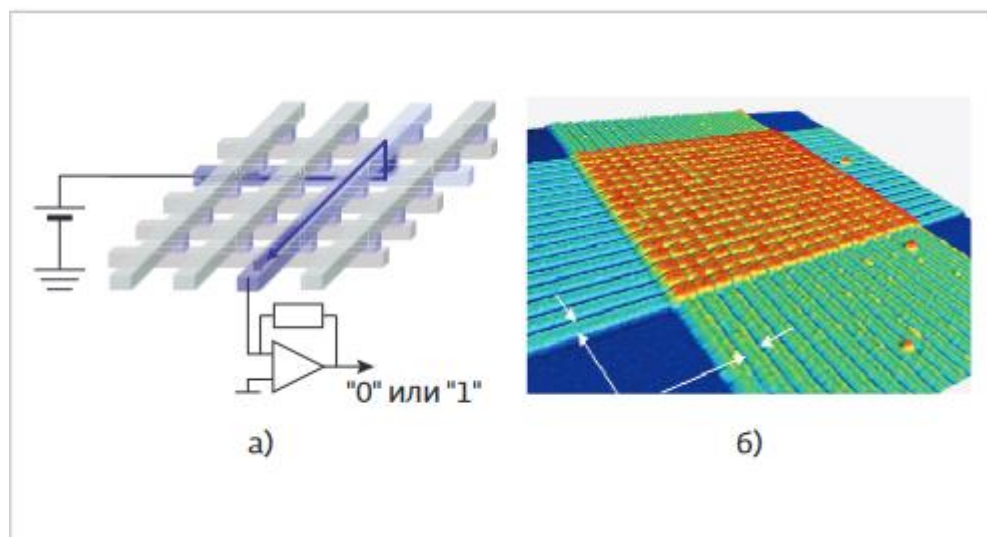


Рис. 2.31 Схематичне зображення матриці мемристивних елементів пам'яті (а) – зображення матриці мемристивних елементів на основі структур Pt/TaO_x/Ta

(б) - отримане за допомогою атомно-силового мікроскопу. Розмір мемристорів 50х50 нм

Для структури Pt/TiO₂/Pt вольтамперна характеристика має діодний характер, а для структури Pt/TiO_x/Pt – резистивний. Структура Pt/TiO₂/TiO_x/Pt має добре виражений діодний характер, в якій струм втрат не перевищує 1 кА, що говорить про високу якість бар'єру.

Один недолік мемристорів є в пошуку матеріалів і розробці технологій виготовлення мемристорів нанометрових розмірів (менше 30-50 нм), яка забезпечувала б стабільність і відтворюваність їх параметрів при необхідній кількості циклів перезапису порядку 10¹⁴.

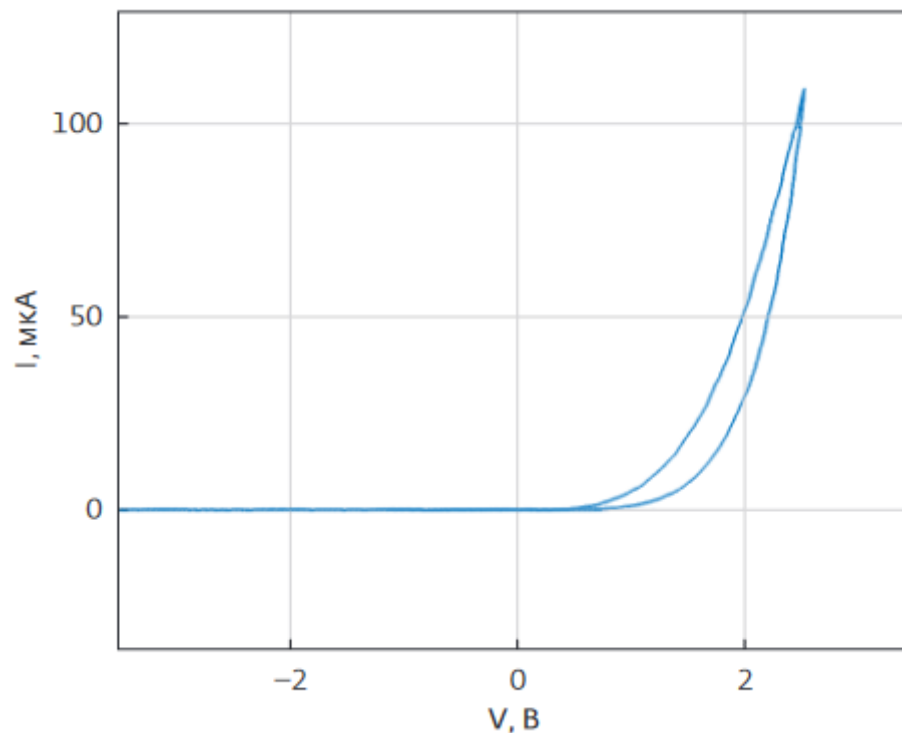


Рис. 2.32 діодний характер вольт-амперної характеристики Pt/TiO₂/TiO_x/Pt структури

Параметри ВАХ мемристора на основі структури Pt/TiO₂/TiO_x/Pt приблизно відповідає вимогам, що зазначені у табл. 2.13. У такій структурі число циклів перезапису визначається як $N < 10^2$ [2].

2.2.4 Принцип дії мемристора

Принцип роботи мемристора можна пояснити як електроміграція іонів кисню під дією змінних електричних полів, що і є основною причиною виникнення двозначної залежності струму від напруги в контактах металевого електрода зі складним оксидом перехідних металів.

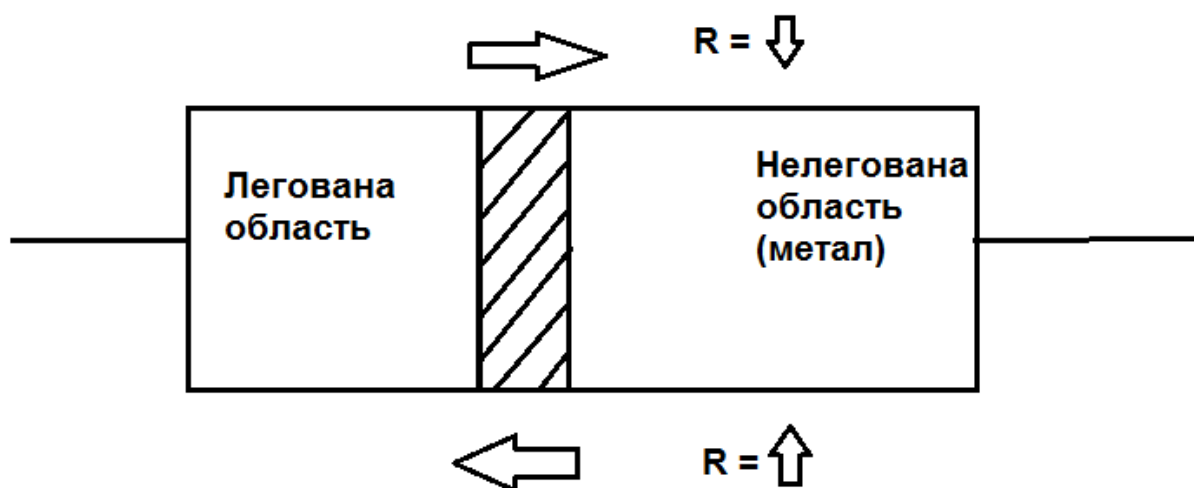


Рис. 2.33 Блок-схема мемристора

Неорганічний мемристор, наприклад, на основі оксиду титану, має наступну структуру: на підкладці з р-легованого монокристалічного кремнію створюються контакти по межах робочої області, яка складається з двох шарів: нелегована область і легована. Нелегована область — шар збідненого оксиду титану TiO_x , а легована область — шар діоксиду титану TiO_2 . Замикає структуру шар контакту з платини (Pt), хоча можливе використання золота (Au), що навіть може підвищити стійкість приладу до деградації робочих шарів. Велика стійкість до кількості циклів перемикання для мемристотров з золотими контактами може бути пов'язана з меншою дифузійною швидкістю кисню крізь плівку золота в порівнянні з плівкою з платини.

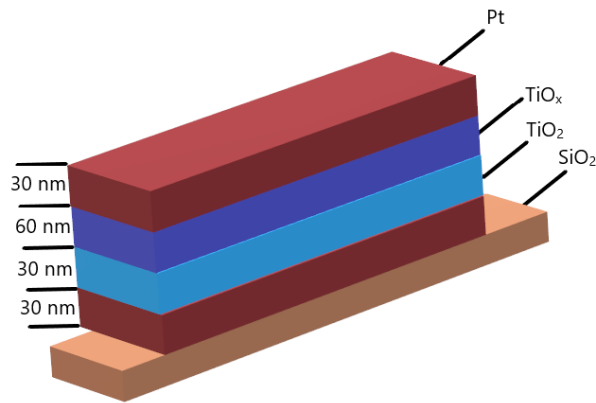


Рис. 2.34 Трьох вимірна модель структури мемристору

Еквівалентно мемристор можна представити як суму опорів двох перемінних резисторів Б підключених послідовно. Один з резисторів має низький опір R_{on} , інший набагато більший опір R_{off} .

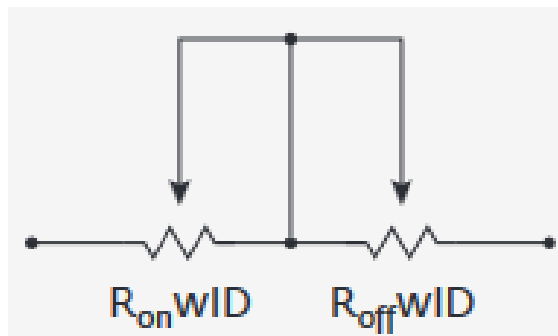


Рис. 2.35 Еквівалентна схема мемристора

Мемристор має властивість не втрачати заряд з часом, з перепадом температур та навіть під впливом радіації. Єдине що може пошкодити якість зчитування інформації, яка записана на мемристор, - високовольтне поле, що може створити пробиття іонами кисню в робочих зонах мемристора.

З мемристорів, як елементи пам'яті, можливо виготовляти матриці, які можна описати у вигляді наступної структури: паралельні провідники з шириною близько 50 нм, які перетинаються з іншим набором нанопровідників. Між ними знаходиться прошарок з матеріалу, що володіє мемристивними властивостями.

Мемристивна матриця має велику кількість вбудованих в ній внутрішніх елементів, тим самим забезпечуючи високий обсяг пам'яті. Так як у мемристора з великою кількістю циклічних перезаписів деградують робочі зони, в критичний момент не має можливості правильно зчитувати інформацію з такого елемента. Для того, що б вирішити цю проблему, запропонований алгоритм при якому до ділянок пам'яті мемристивної матриці, що знаходяться в критичному стані, заборонено буде звертатися на програмному рівні. Згодом з геометричною прогресією будуть виникати все більша кількість заборонених адрес пам'яті, так як, з кожною забороненою адресою, навантаження на робочі ділянки матриці буде зростати, що зменшує час життя кожного окремого елемента. Аналізуючи даний алгоритм можна описати життєвий цикл як і матриці, так і окремого елемента, як спадаючу параболу.

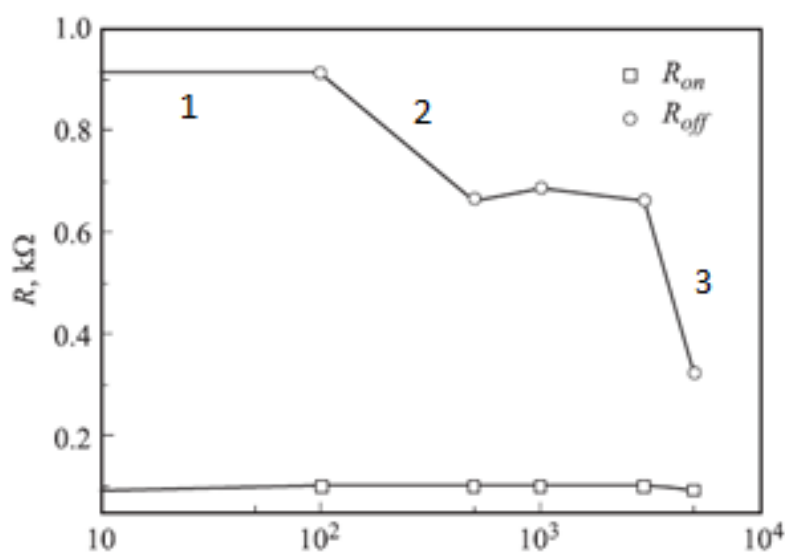


Рис. 2.37 Залежність опору вкл. / Викл.
від кількості перезаписів

При аналізі рис. 2.37 можна побачити дві критичні ділянки в яких робочі шари мемристора деградують і звужуються. Розділивши графік на

рис. 2.37 за кількістю циклічних перезаписів отримаємо три характерні частини графіка:

1. Ділянка графіка, в якому не простежуються зміни в робочих зонах мемристора.
2. Ділянка графіка на якому простежується часткова деградація робочих шарів мемристора.
3. Ділянка графіка на якому простежується критична деградація робочих шарів мемристора, з подальшою його непрацездатністю.

Аналізуючи ділянки даного графіка можна прописати алгоритм на програмному рівні для машини, при якому вона буде розраховувати крутизну і порівнювати його з відомими їй значеннями. Розрахунок може проводитися за такою формулою:

$$\theta = \arctg \frac{d t_{\text{выб}}}{d R_{\text{off}}} \quad (2.2.4.1)$$

де $t_{\text{выб}}$ – час вибірки.

Далі машина буде порівнювати поточне значення θ з відомим граничним значенням параметра. Нехай ділянку графіка (ділянка № 1) має характерне значення θ_1 , при порівнянні зрозуміло, що даний елемент знаходиться в робочому стані, і заміні не підлягає. Наступна ділянка (ділянка № 2) має характерне значення θ_2 , і означає, що до даного елементу варто повернутися

через якийсь час, так як робочі зони даного елемента за час активного використання кілька деградували. Можливо перевірку таких елементів слід виконувати більш часто. Ділянка (ділянка № 3) з характерним значенням θ_3 , є критичним і цей елемент слід розглядати як такий, що може вийти з ладу, машина буде забороняти запис даних в даний елемент, так як його активні зони вже занадто деградували і елемент має високу ймовірність відмови в майбутньому та має ймовірність некоректного зчитування інформації. Значення граничного θ , можна розглядати по функції апроксимації:

$$y(x) = A \ln((A + B) - x) + C - \exp(-(x - D)^2 + E) \quad (2.2.4.2)$$

Де

$A \sim 10$

$B \sim 0,1$

$C \sim 22,5$

$D \sim 4$

$E \sim 2$

Ця функція апроксимації працює в діапазоні кількості перезаписів (N) від 10^2 до 10^3 . Ця ділянка характеризується звуженням робочих зон мемристора.

У матриці з безліччю мемристоров, машина може застосовувати такий алгоритм відстеження працездатності кожного окремого елемента і вчасно забороняючи деякі адреси пам'яті до запису що дозволить уникнути втрати інформації.

Плюсом даного алгоритму є можливість його автоматизації, повністю виключаючи участь користувача в цьому процесі.

2.2.5 Завдання при побудові блоку в БЕК для вимірювання мемристора

Головна ідея полягає у тому, що знаючи внутрішній опір мемристора, можна визначити скільки перезаписів лишилося у компоненті. На сьогоднішній день максимальна кількість перезаписів у твердотільному мемристорі складає до 20 разів. Тож у подальшому, максимальною кількістю перезаписів мемристора (N) вважатимемо 20 разів.

Внутрішній опір мемристора визначатиметься за формулою:

$$R_{mem} = R_{on} \cdot x + R_{off}(1 - x) \quad (2.2.5.1)$$

Де, $x = W/D$, D – вся ширина точкової плівки мемристора. W – Фактична ширина легованої області. З формули бачимо, що номінальний опір мемристора напряду залежить від ширини усього мемристора, та його легованої зони.

Тож, теоретично можна вивести залежність внутрішнього опору мемристора (R) від кількості циклів перезапису (N). І за цим графіком, теоретично, можна визначити скільки мемристорі залишилось циклів перезапису до відмови компоненту.

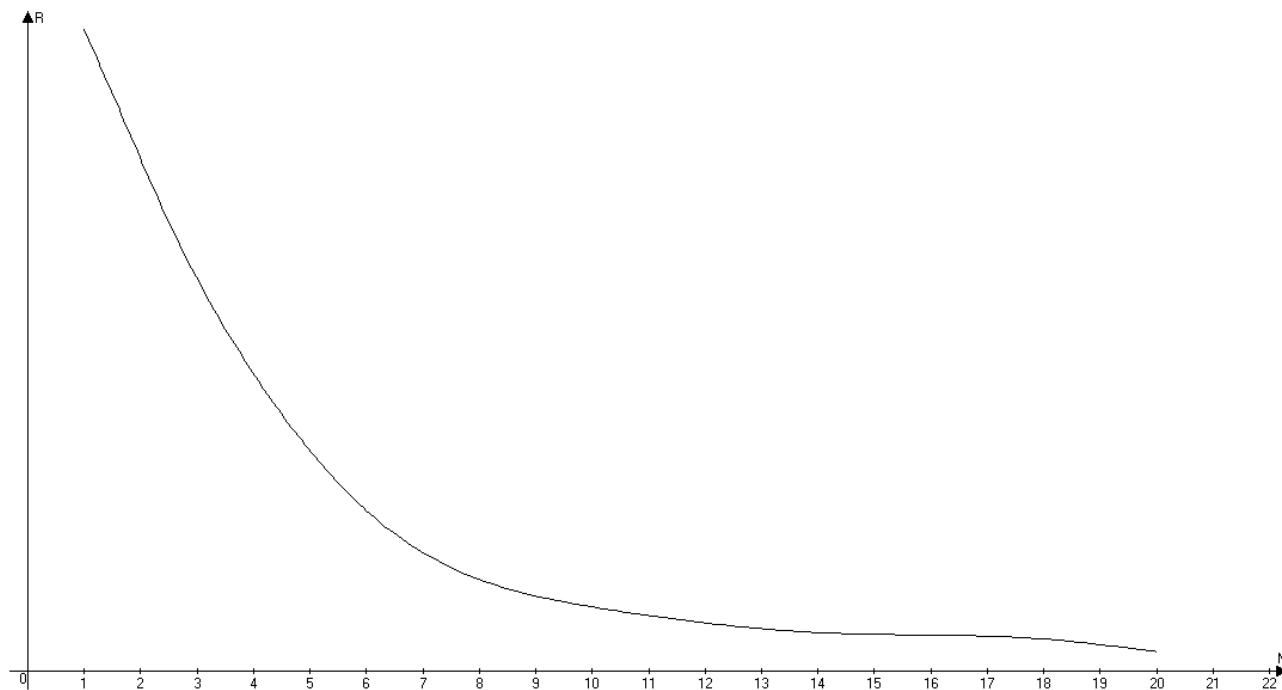


Рис. 2.36 Теоретичний графік залежності внутрішнього опору
мемристора від кількості циклів перезапису

Висновки

У цьому пункті описуються можливості ключового елемента схеми – мікроконтролера. Саме мікроконтролер здатний прийняти змінний сигнал та перевести його через АЦП в цифровий. Також детально описана кожна складова мікроконтролера, її характеристики та параметри. Виявлено, що параметри мікроконтролера є оптимальними для того, щоб розробити вимірювач електронних компонентів.

У другому підпункті описано один із компонентів, який може вимірювати прилад, це – мемристор. Мемристор можна використовувати як елемент пам'яті. Він змінює свій опір в залежності від того, який заряд проходить через нього. Вимірювач електронних компонентів буде вимірювати його внутрішній опір та користуючись цією інформацією буде показувати кількість перезаписів мемристора.

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				82
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Розробка Стартап проекту

Стартап-проект – це тип бізнесу, або компанії, цілю якої є отримання доходу шляхом реалізації комерчеської, або технічно нової ідеї. Із появою Інтернету як інструменту комунікацій та збуту інформації стало простіше знаходити споживачів та інвесторів для нових ідей, а також займатись пошуком ресурсів. Але реалізація стартап-проекту супроводжується рядом ризиків, результатом якого сприяє повна не реалізація свого проекту. Причинами цього може бути:

1. Невдала презентація проекту перед інвесторами.
2. Незатребуваність продукту на сучасному ринку.
3. Неправильний розрахунок сил та коштів, варіант розвитку коли проект збанкрутував.
4. Та багато інших.

На сучасному ринку середній шанс впровадження власного стартап-проекту вимірюється приблизно у 10-20%. Головним плюсом стартап-проекту являється – його ідея. Успішні, в доходному плані, проекти мають:

1. Просту ідею для виконання.
2. Невеликий час реалізації продукту.
3. Малу собівартість.
4. Новизну на ринку.

Одним із прикладів сучасного та успішного стартап-проекту являється: «Grammarly». Простая ідея, а саме онлайн-сервіс на основі штучного інтелекту для допомоги в написанні текстів англійською мовою [16]. Даний сервіс є результатом інтелектуальної роботи українських студентів. На сьогоднішній день сервіс має величезний попит та перспективи до розвитку в сучасному світі. Але як і будь-яка вдала стартап-компанія, все починається з ідеї.

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				83
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Етапи розробки стартап-проекту:

1. Маркетинговий аналіз стартап-проекту.

На цьому етапі стартап-проекту розглядається опис ідеї проекту та визначаються загальні напрями в яких буде реалізований товар, послуга чи сервіс. Головним на цьому етапі – це виділення чим саме проект відрізняється від конкурентів. Наступним підетапом являється попередня оцінка можливості успішної реалізації продукту на ринку. На базу вище написаних дії розробляється стратегія за якою буде поширюватись продукт на ринку.

2. Організація стартап-проекту.

На цьому етапі розробляється календарний план-графік для максимальної швидкої та успішної програми для стартап-проекту.

Також розробляється пошук основних каналів для придбання апаратури для використання, або створення, продукту проекту. Наступним підетапом організації являється вираховування обсягу виробництва першої хвили продукту та формується в яких саме матеріальних ресурсах та персоналі потребується продукт. І заключний підпункт даного етапу – розрахунок початкових витрат на запуск стартап-проекту та загальні витрати, необхідні для старту проекту.

3. Фінансово-економічний аналіз та оцінка ризиків проекту.

Для вдалої презентації та старту стартап-проекту потрібен основний обсяг інвестиційних витрат компанії. Для того, щоб зацікавити інвесторів в стартап-проекті потрібно визначити показники привабливості проекту на інвестиційному ринку. А саме:

- Запас фінансової міцності.
- Рентабельність продажів та інвестицій.
- Період окупності проекту.

Також одним із важливих показників для інвесторів являється основні ризики проекту та напрямки для їх запобігання та як саме компанія буде реагувати на ризики та проблеми.

4. Заходи з комерціалізації проекту.

Після підготовки для успішної презентації стартап-проекту далі слід здійснити пошук інвесторів та просування інвестиційної пропозиції (оферти). Цей процес включає в себе: Визначення на яку саме групу інвесторів буде фокусуватись компанія про впровадження власного стартап-проекту та виявлення зацікавленості інвесторів в власному проекті компанії. Наступник кроком являється складання інвест-пропозиції (оферти):

- Коротка характеристика проекту для попереднього ознайомлення інвесторами власного стартап-проекту компанії.

Також немало важливим шлюхом для пошуку інвесторів являється планування та відвідування заходів для загального ознайомлення та просування оферти:

- Визначення комунікаційних каналів та площадок та планування заходів з просування в межах обраних шляхів;

І заключим підпунктом це планування та організація ресурсів для заходів з метою просування власної оферти.

Виконання вище написаних етапів та реалізація їх послідовно та вчасно – створюють передумови для успішного ринкового старту стартап-проекту.

3.1. Опис ідеї проекту

Опис ідеї стартап-проекту наведено нижче в табл. 3.1. В данній таблиці приведено сильні та слабкі сторони проекту.

Табл. 3.1 Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Зміст ідеї: Створення модульного вимірювача, для обчислення, обробки та передавання інформації на дисплей про номінали та параметри електронних елементів.	1. Технічна галузь	Розробка власних пристроїв та контроль виробництва пристроїв на виробництві. Розпізнання дефектних, неробочих чи хибних елементів та в подальшому їх заміна. Висока якість та швидкодія приладу. Доступність та розвиток приладу
	2. Промислова галузь	Контроль якості виробничих приладів, та ремонт в подальшому з розпізнаванням дефектних та хибних елементів в електронній схемі.

Табл. 3.2 Слабкі та сильні сторони власного стартап-проекту та конкурентів

Технічно-економічні характеристики ідеї	Товари та концепції конкурентів				W Слабка сторона	N Нейтральна сторона	S Сильна сторона
	Власний проект	Конк. № 1	Конк. № 2	Конк. № 3			
Вимірювання основних параметрів	Так	Так	Так	Так			+

електронних компонентів							
Вимірювання параметрів циклічних перезаписів мемристорів	Так	Ні	Ні	Ні			+
Можливість додавання модулів для додаткових вимірів	Так	Так	Ні	Ні		+	
Похибка вимірювань	1 %	5 %	10%	5 %		+	

На основі таблиці 3.2 про слабкі та сильні сторони власний стартап-проект має переваги на ринку серед конкурентів, та базуючись на табл. 3.1 можна виявити основні шляхи для впровадження даного стартап-проекту.

3.2. Технічний аудит ідеї проекту.

Важлива частина технічного проекту в компанії на базі якого планується розробити стартап-проект являється технічна здійсненність ідеї проекту що наведено в табл. 3.2.1

Табл. 3.2.1 Технологічна здійсненність ідеї стартап-проекту.

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технології	Доступність технології
Розробка приладу для швидкої, якісної обробки інформації про номінал електронного компоненту без спотворення інформації для представлення її користувачу максимально точно. Та підтримка функції додавання додаткових модулів для виміру параметрів не основних електронних компонентів;	Розробка, підтримка, програмування ;	Наявна;	Доступна;

За даними з таблиці 3.2.1 можна зробити висновок, що даний прилад має технологічну реалізації на сучасному ринку, існують наявні та доступні технології для виробництва та реалізації ідеї даного стартапу.

3.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Головним параметром для інвесторів являється картина ринку, та як саме продукт інвестуємої компанії буде конкурентоспроможним і як буде розповсюджувати товар у вже сформованому ринку.

Табл. 3.3.1 Характеристика постійних клієнтів

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Швидке, точне та якісне вимірювання параметрів електронних компонентів з якими потрібно працювати.	1) Компанії, що займаються професійно на рівні серійного виробництва приладів, та які мають сервіси з ремонту пошкодженого чи дефектного товару. 2) Інженери, студенти, навчальні заклади та малі компанії, які займаються радіотехнікою та сервісним ремонтом.	Об'єм купівлі та складність використання приладу;	До продукту: <ul style="list-style-type: none"> • Якість; • Точність; • Велика функціональність; • Швидкодія; До компанії: <ul style="list-style-type: none"> • Сервісна підтримка; • Виробництво нових модулів для виміру другорядних елементів; • Розробка ПО для нових модулів;

Наступним кроком буде розпис факторів загроз та їх детальній зміст, а також розпис реакції та дії компанії для захисту від цих загроз. Ця вся інформація наведена в табл. 3.3.2

Табл. 3.3.2 Фактори загроз та реакція компанії на них

Фактор	Зміст загрози	Реакція компанії
1) Конкуренція.	Одна із головних загроз на ринку – конкуренція. Одною із проблем являється поставлення своєї продукції кращою ніж інший виробник на тому самому ринку.	Розробка стратегії на цільовому ринку таким чином, щоб представити плюси власного виробу споживачу та розробити стратегію для утримання лояльних клієнтів.

Наведемо фактори можливостей власного стартап-проекту на ринку, приведені результати вписані в табл. 3.3.3.

Табл. 3.3.3. Фактори можливостей стартап-проекту

Фактор	Зміст можливостей	Можлива реакція компанії
1) Можливість додавання нових модулів для виміру другорядних електронних компонентів.	Змога до додавання додаткових модулів для виміру додаткових електронних компонентів дає змогу споживачу самому вирішувати з якими електронними компонентами він планує працювати та також дозволяє не переплачувати за можливості, які можуть не знадобитись користувачеві.	Залучення нових клієнтів через поширення даної можливості на можливих каналах маркетингу.
2) Можливість вимірювання мемристору	Можливість до вимірювання кількості циклічних перезаписів мемристору дає змогу передбачувати в який саме час життя елемента шанс до зчитування інформації з нього невірно виростає.	Дану можливість можливо пропанувати компаніям, які професійно займаються мемристовними матрицями та мемристовними планками пам'яті.

Характеристику ринку та аналіз конкуренції можна представити в табл. 3.3.4.

Табл. 3.3.4. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку.

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Тип Конкуренції: чиста	В кого кращий товар, чи послуга – в того і купують.	Покращення якості товару на ринку.
2. За рівнем конкурентної боротьби: Світова	Продукт проекту належить до звуженого ринку збуту.	Додавання функціоналу та орієнтації споживачів.
3. За галузевою ознакою: одногалузева	Може бути використана в одній із галузей.	Покращення якості в одній із галузей.
4. Конкуренція за видами товарів: Товарно-видова	Відрізняється функцією додавання додаткових модулів для виміру електронних компонентів.	Додавання відрізняючих від конкурентів функцій.
5. За характером конкурентних переваг: цінова та нецінова	Продукт привабливіший – чим дешевше. Чим продукт якісніший – Тим рентабельніше.	Покращення цін та якості товару у порівнянні з конкурентами.
6. За інтенсивністю: Не марочна	Не має жорсткої конкуренції	Має не агресивні форми піару.

Головним фактором для споживача являється – ціна та якість. В наступній табл. 3.3.5 записані фактори конкурентоспроможності на основі головних факторів для споживача.

Табл. 3.3.5. Фактори конкурентоспроможності.

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1) Ціна	На ринку зі схожими приладами споживач обиратиме ту, що являється найдешевшою.
2) Якість	На ринку зі схожою ціновою

	політикою між конкурентами споживач обиратиме той продукт – який має найкращі характеристики.
3) Відомість	При рівності таких параметрів як ціна та якість споживач обертатиме товар який найбільш відомий на ринку.

За даними факторами споживач буде обирати для себе найбільш привабливий продукт на ринку в залежності від пріоритетів. Тож важливо вигравати по всіх трьох позиціях у конкурентів на цільовому ринку.

Маючи всю важливу інформацію про цільовий ринок, та споживачів в цьому ринку, можна провести порівняльний аналіз сильних та слабких сторін, які представлені в табл. 3.3.6.

Табл. 3.3.6. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

Фактор Конкурентоспроможності	Бали 1 – 20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з “DP”						
		-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Ціна					+			
Якість					+			
Відомість				+				

Підсумувати інформаційний аналіз можна SWOT-аналізом стартап-проекту який приведений в табл. 3.3.7.

Табл. 3.3.7. SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Більша потужність; Сильніший мікроконтролер; Швидкодія; Висока точність вимірювань;	Слабкі сторони: Мала кількість початкових елементів для вимірювання (базові елементи); Габаритність;
Можливості: Можливість вимірювати мемристор; Можливість додавання додаткових елементів;	Загрози: Конкуренти;

В таблиці 3.3.7. представлені сильні та слабкі сторони проекту, а також можливості та загрози.

3.4. Розробка маркетингової програми стартап-проекту

Для успішного старту стартап-проекту потрібна наявність маркетингової програми стартап-проекту. На основі цієї маркетингової програми будується стартова стратегія конкурентної поведінки на цільовому ринку. Результати приведені в табл. 3.4.1.

Табл. 3.4.1 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки на цільовому ринку.

Чи являється проект першопроходцем на цільовому ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Якщо розглядати прилад з структурної точки зору – ні. Аналоги даного приладу існували в минулому, але в приладі в даному стартап-проекта можна побачити покращення в точності та швидкодії, а також в нових можливостях, яких не має в конкурентів на цільовому ринку.	Стратегія компанії побудована на принципі, що клієнти будуть переходити від конкурентів за рахунок нижчої ціни, а також за рахунок вищої якості.	Так – Загальні принципи для покращення характеристик приладу.	Агресивна стратегія конкурентної поведінки.

Визначимо ключові переваги концепції для потенційного товару. Визначимо ці параметри в наступній табл. 3.4.2

Табл. 3.4.2. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1) Підвищення точності виміру електронних компонентів.	Високу точність за рахунок високочастотної обробки інформації на мікроконтролері.	Використання потужнішого мікроконтролера ніж у конкурентів.
2) Висока швидкодія	Високу швидкодія обробки інформації виконує також мікроконтролер.	Використання мікроконтролера з більшою кількістю шин для обробки інформації.

Важливою частиною в продажу товару на цільовому ринку – система збуту. Опишемо цю саму систему в табл. 3.4.3.

Табл. 3.4.3. Формування системи збуту

Специфікація закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які саме має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту.
Роздрібна та оптова закупівля продукту.	Збут, ремонт та налаштування товару.	Усі можливі канали збуту.	Власна.

Висновки

В результаті проведення маркетингового дослідження та цільового сегменту ринку, а також споживачів яких можна сформувати з даного сегменту ринку. Можна зробити висновки, що починаючи стартап-проект по розробці модульного вимірювача параметрів електронних компонентів можна охопити доволі широку область для привласнення клієнтів конкурентів за рахунок підвищеної якості, швидкодії та нових можливосте приладу. Також прогнозується високі доходи починаючи зі старту продаж приладу.

Даний прилад буде поширюватися на ринку електроніки, для людей, які захоплюються радіоелектронікою, і для професіоналів і великих фірм, що спеціалізуються на складному і точному обладнанні. Аналогами для даного приладу є лише частково - готові тестери для обмеженої кількості елементів. Прямими конкурентами для даного стартапу є:

1. Тестери для вимірювання внутрішніх параметрів електронних компонентів з Китайського ринку.

2. Магазины радіоелектроніки на території України (Electro Radio Group, AKS, Global Sat, MTA і тд.).

Непрямими конкурентами є інтернет форуми і сайти для радіоелектроніки (radiokot і т.д.).

Стратегія для початку стартап проекту на ринку вважає в наступному:

1. Створення сайту для реклами власного приладу.
2. Збір грошей на першу хвилю приладів від зацікавлених клієнтів.
3. Створення першої хвилі приладів і продаж за низькою ціною з мінімальною націнкою для набору позитивних відгуків про товар (обов'язково умова при покупці даного товару - відгук від покупця).
4. На зароблені гроші створити другу хвилю приладів, для продажу клієнтам, що перейдуть на сайт через позитивних відгуків. Далі ціна за товар буде рости в залежності від приросту клієнтів.

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				95
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Клієнтська база проінвестує 50% першої хвилі приладів. Другу половину інвестори. При кожній наступній хвилі створення приладів, можна підвищувати ціну для кінцевого споживача, тим самим зменшуючи вплив проекту від інвесторів і поступово переходячи на дохід від клієнтів.

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				96
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Розробка мікроконтролерного вимірювача параметрів електронних компонентів

4.1 Аналіз технічного завдання

1. Спроектувати вимірювач електронних компонентів для вимірювання індуктивності та ємності, резистивності та мемристивності. Зрозуміти принцип дії схеми з різними типами номіналів, та різними типами компонентів.
2. Розробити схему для считування резонансної частоти в контурі. Та считування активного опору резистора за постійним струмом та номінального опору мемристора. Виявити переваги та недоліки, характеристики, та параметри мікроконтролера для зчитування інформації.
3. Розробити програмне забезпечення для даної схеми.
4. Розробити друковану плату схеми.
5. Пояснити принцип дії блоків для вимірювання індуктивності та ємності, активного опору та мемристивності.
6. Розробити принципову електричну схему мікроконтролерного вимірювача електронних компонентів.
7. Використати елементи схеми з такими параметрами:

4.1 Технічне завдання:

Вхідна напруга живлення :	5 В
Мікроконтролер:	PIC16F876
Постійний струм через вхід/вихід:	20 мА
Діапазон вимірювання (індуктивності):	Від 10 мкГн до 100 мГн.
Діапазон вимірювання(ємності):	Від 1 нФ до 100 мФ
Діапазон вимірювання (опору):	Від 1 Ом до 10 кОм
Діапазон вимірювання кількості перезаписів мемристора:	1 – 3000 разів
Похибка:	+/- 1%
Тактова частота:	20 МГц

4.2 Розробка структурної схеми

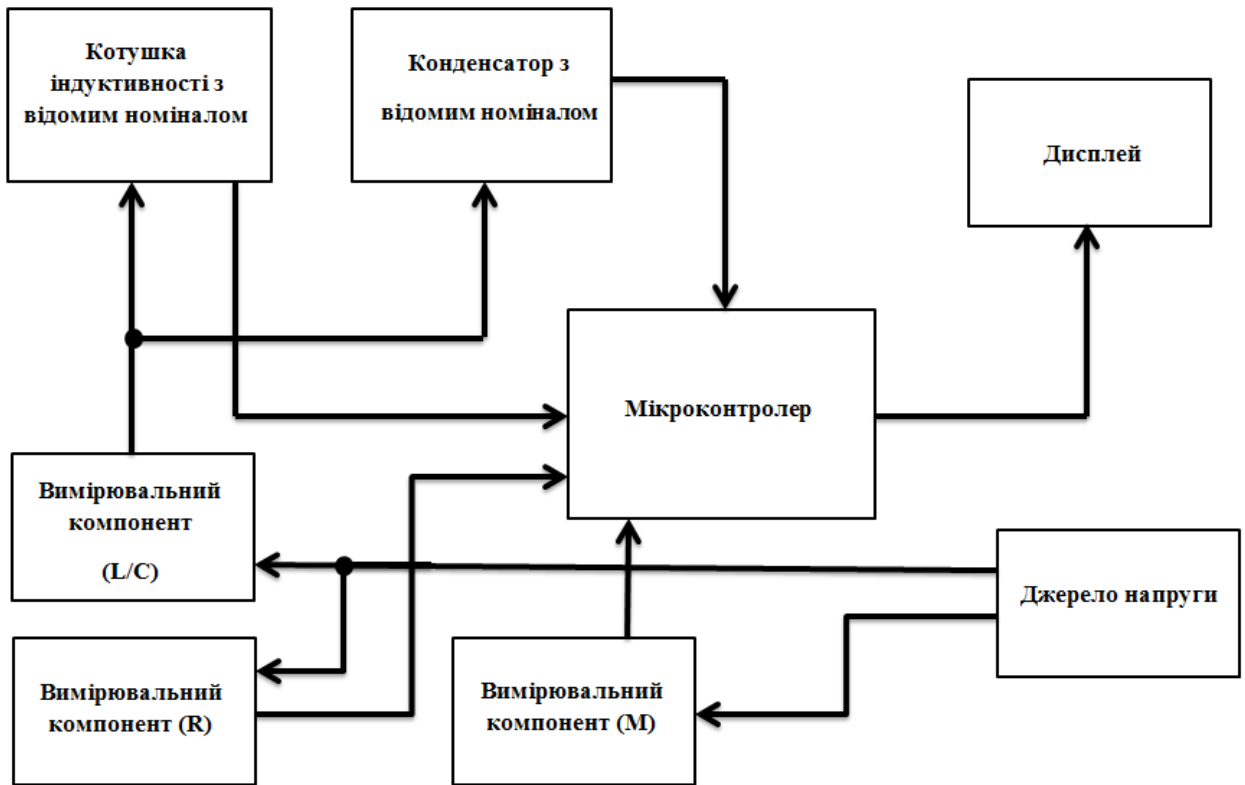


Рис. 3.1 Структурна схема мікроконтролерного вимірювача електронних компонентів

Опишемо кожний з блоків вимірювача електронних компонентів:

1. **Вимірювальний компонент (L/C)** – До мікросхеми під'єднується конденсатор, або котушка індуктивності, з невідомим номіналом.
2. **Вимірювальний компонент (R)** – Блок схеми, в якій вимірюється активний опір резистора за постійним струмом.
3. **Вимірювальний компонент (M)** – Блок схеми, в якій вимірюється номінальний опір мемристора та швидкість його деградації (крутизну).
4. **Котушка індуктивності/конденсатор з відомим компонентом** – пара компонентів, які утворюють «явище резонансу» з компонентом номінал якого невідомий.

5. **Мікроконтролер** – Мікроконтролер PIC16F876, в якому проводиться розрахунок номіналу вимірювального компоненту за вшитою у нього програмою.
6. **Джерело напруги** – Будь-яке однополярне джерело стабілізованої напруги або акумулятор. Для нормальної роботи пристрою рекомендується джерело напруги 5 В.

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		100

4.3 Розробка схеми електричної принципової

Результати розробки електричної принципової схеми приведена на рис. 3.2

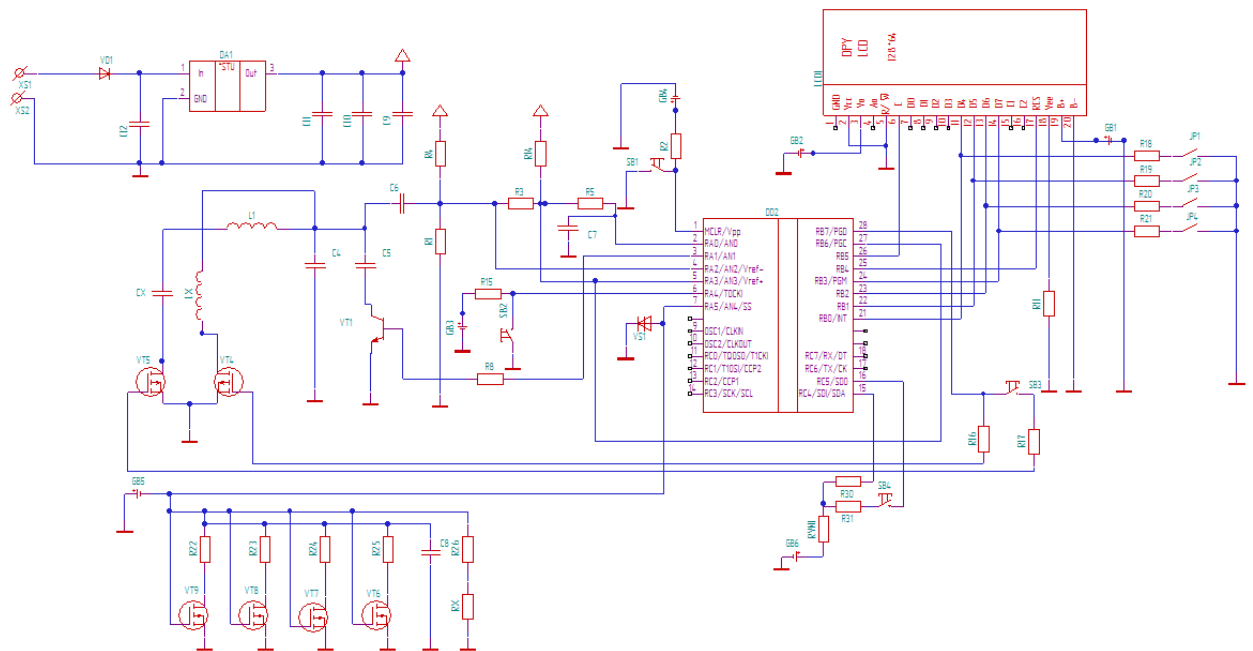


Рис. 3.2 Схема електрична принципова мікроконтролерного вимірювача параметрів електронних компонентів

На рис. 3.2 показана схема електрична принципова приладу. Опишемо кожен із блоків з вимірювання електронних компонентів.

4.3.1 Джерело напруги

Для того, щоб забезпечити оптимальну напругу для мікроконтролера та для виміру номіналів електронних компонентів використовується стабілітрон LM7805. Результат розробки джерела напруги показаний на рис. 3.3.

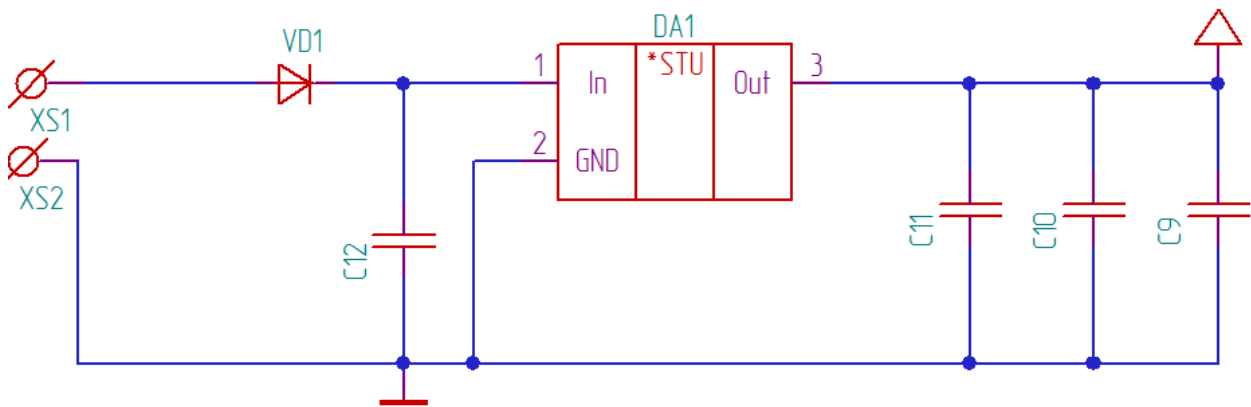


Рис. 4.3 Джерело напруги мікроконтролерного вимірювача параметрів електронних компонентів.

Рекомендована напруга для оптимальної роботи приладу та мікроконтролера 4.7-5 В. Стабільну напругу забезпечує стабілітрон LM7805, завдяки ньому напруга не перевищує 5В, що забезпечує роботу приладу.

Конденсатори (C9 – C12) забезпечують фільтрацію напруги живлення. Для цього вибираємо номінали конденсаторів відповідно:

Табл. 4.1 номінали компонентів джерела напруги

Компонент	Номінал
C9	100 нФ
C10	100 нФ
C11	10 мкФ
C12	10 мкФ

Діод VD1 забезпечує захист батарейки, напруга якої проходить через стабілітрон від зворотного струму.

4.3.2 Блок вимірювання номіналів конденсаторів та котушок індуктивності.

Розробляючи блок для вимірювання номіналів для котушки індуктивності та для конденсаторів, використовуються елементи для виконання технічного завдання. Результат розробки показаний на рис. 3.4.

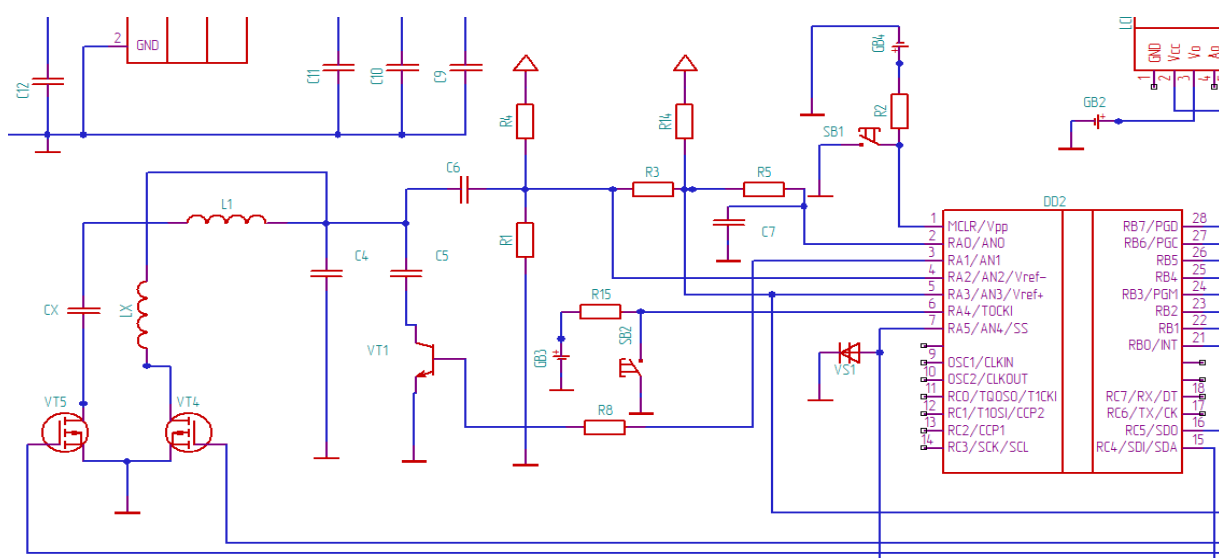


Рис. 4.4 Блок для вимірювання номіналів L та C

Прилад працює за принципом зчитування та обробки резонансної частоти. До вимірювального компонента з невідомим номіналом послідовно під'єднується елемент з відомим номіналом. При підключенні котушки індуктивності (L_x), прилад буде працювати у номінальному режимі. З мікроконтролера подається рівень логічної одиниці на затвор польового транзистора VT4, що відкриває транзистор. При цьому утворюється послідовний коливальний контур (індуктивність L_x та ємність C_4 , номінал якої відомий). Коливання, що виникають в контурі (явище резонансу), надходять до порту «А» мікроконтролера. У порті «А» в мікроконтролері встановлений тригер Шмітта, за допомогою якого змінний сигнал

резонансної частоти перетворюється у цифровий сигнал, що містить логічні одиниці та логічні нулі. За допомогою резонансної частоти та відомого номіналу C4 розраховується номінал конденсатора (Cx), що вимірюється.

Для більшої фільтрації корисного сигналу використовуються конденсатори (C5 – C7). Також підключені підтягуючі резистори для стабільної роботи приладу (R2, R14, R4).

Резонансна частота подається на PORTA, та оброблюється мікроконтролером програмним забезпеченням по формулам, які вшиті у мікроконтролер.

Табл. 4.4 Формули для визначення номіналів L та C компонентів

Для Конденсаторів	Для Котушки індуктивності
$F_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{-----(1)}$	$F_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{-----(5)}$
$F_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{l(C + C_{cal})}} \quad \text{-----(2)}$	$F_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{l(C + C_{cal})}} \quad \text{-----(6)}$
$F_3 = \frac{1}{2\pi\sqrt{l(C + C_x)}} \quad \text{-----(3)}$	$F_3 = \frac{1}{2\sqrt{(l + l_x)C}} \quad \text{-----(7)}$
$C_x = \frac{\left(\frac{F_1}{F_3}\right)^2 - 1}{\left(\frac{F_1}{F_2}\right)^2 - 1} \times C_{cal} \quad \text{-----(4)}$	$L_x = \left\{\left(\frac{F_1}{F_3}\right)^2 - 1\right\} \times \left\{\left(\frac{F_1}{F_2}\right)^2 - 1\right\} \times \frac{1}{C_{cal}} \times \left\{\frac{1}{2\pi F_1}\right\}^2 \quad \text{----(8)}$

4.3.3. Блок для вимірювання активного опору резистора.

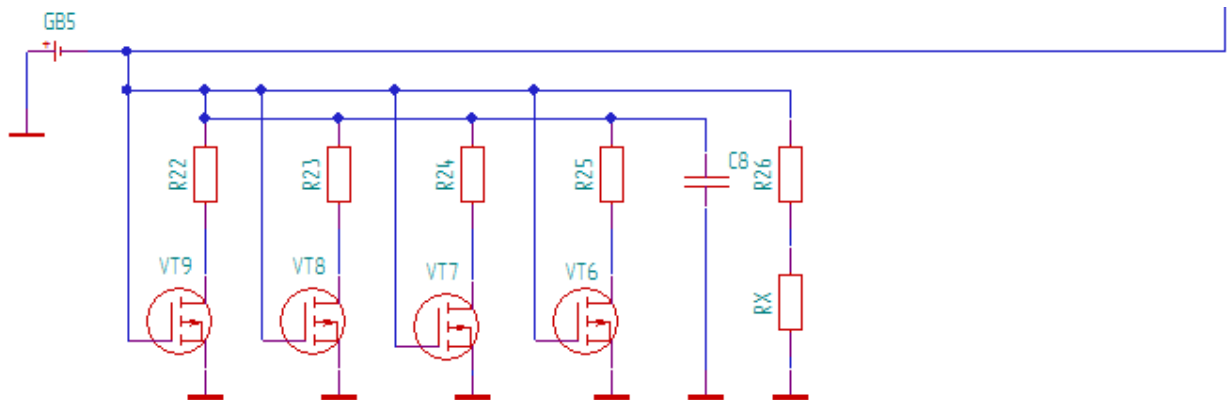


Рис. 4.5 Блок для вимірювання активного опору резистора

Для того, щоб розрахувати активний опір резистора, він включається послідовно з відомими опорами. Всього в схемі 4 відомих опор (R22-R25) для різних діапазонів, які по черзі підключаються мікроконтролером. Як ключі використовуються польові транзистори 2N7002.

В ланку по черзі подається відфільтрована напруга живлення (5V) і вимірюється падіння напруги на резисторах (R22 - R25). Опір відкритих і закритих транзисторів ігноруються.

4.3.4. Блок для вимірювання мемристора

Принцип роботи мемристора полягає у тому, що до запису опір мемристора дорівнює нескінченності. Цей стан називається «закритим». При записі іони кисню дифундують з легованої області мемристора (матеріалом легованої області може виступати індій, або титан), до нелегованої зони, а саме до пористого металу. При цьому процесі мемристор набуває опір, в залежності від струму, або як було сказано вище, в залежності від кількості заряду, який пройшов крізь мемристор та за який час ($\frac{\partial q}{\partial t}$). Час

переключення мемристора, на сьогоднішній день, з одного стану в інший складає порядку 120 пс.

При зворотному проходженні синусоїдального струму, іони кисню дифундують з нелегованої зони назад у леговану зону, а опір мемристора зростає. Але не всі іони кисню повертаються назад, через те, що вони можуть знаходитися за зоною досяжності електронів, а саме через краєві ефект, або через структуру матеріалу, що використовується, і іони залишаються у пористому металі. Саме з цієї причини легована область потроху з кожним перезаписом робочі зони мемристора звужуються і при великій кількості циклічних перезаписів, настає момент, коли не має можливості правильно зчитати правильно інформацію, що була записана на мемристор.

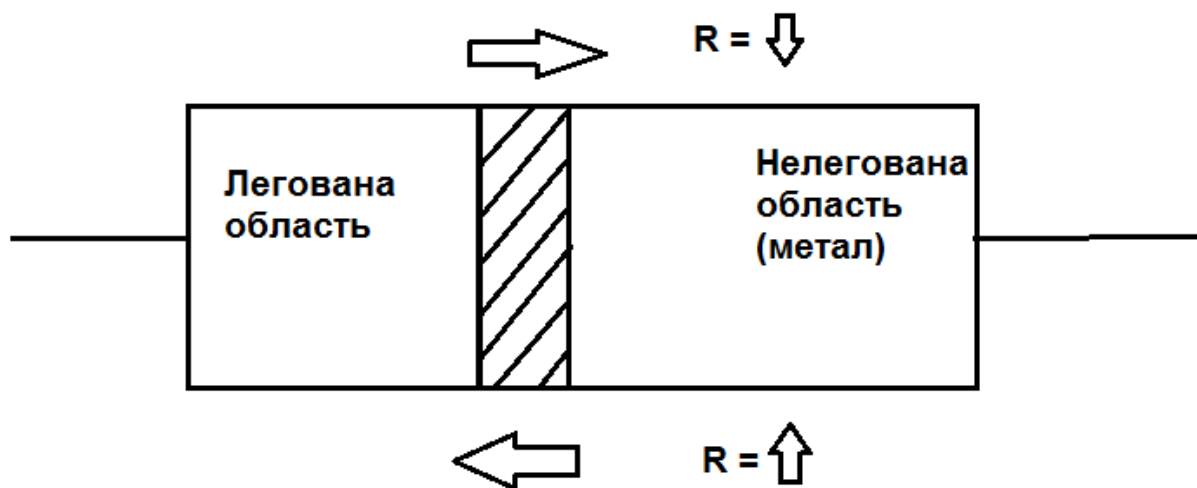


Рис. 4.6 Блок схема мемристора

Це явище можна спостерігати на ВАХ, при перезаписі мемристора гістерезис у нижній половині зменшується. З подальшими перезаписами ефект «ламання» гістерезису повторюється до моменту поки легована зона не займе пористий метал, і подальші перезаписи мемристора не зможуть бути можливими.

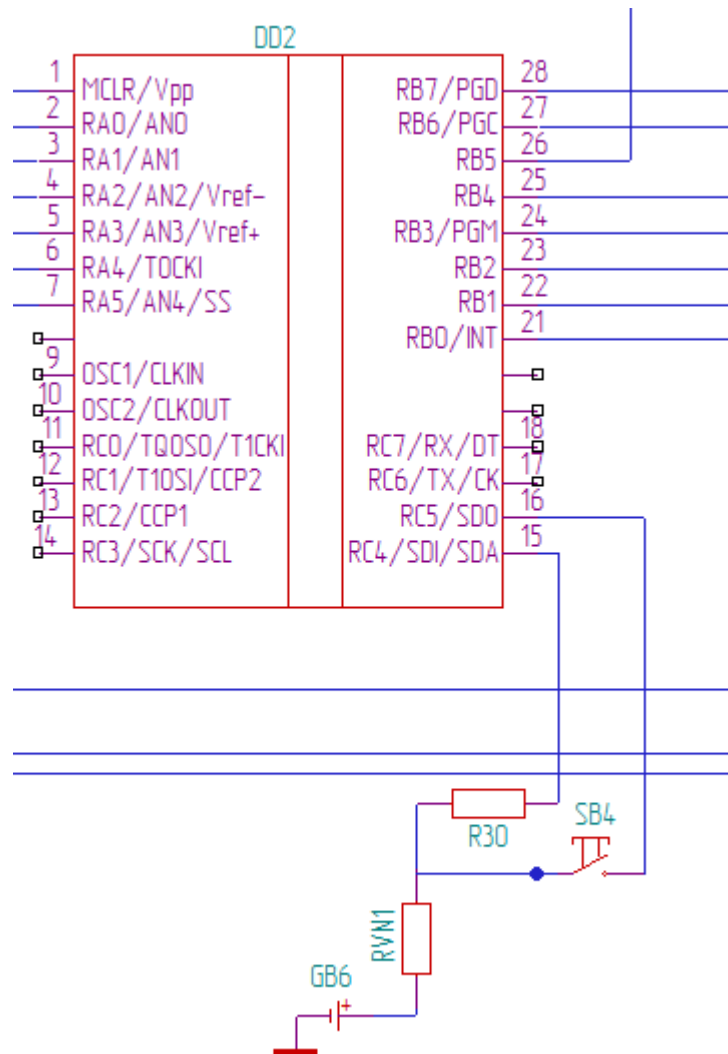


Рис. 4.7 Блок для вимірювання номінального опору мемристора

Досліджуваний мемристор показаний на схемі як елемент (RVN1). У мікроконтролері вшиті формули для знаходження номінального опору та швидкості деградування (крутизни) мемристора. Для того, щоб розрахувати номінальний опір та швидкість деградування – потрібно визначити опір мемристора у відкритому і закритому стані (R_{ON} та R_{OFF}). Щоб з'ясувати ці опори потрібно зняти падіння напруги та струм на мемристорі, і далі по закону Ома у мікроконтролері вираховуються опори мемристора у закритому та відкритому стані (R_{ON} та R_{OFF}).

Значення напруги та струму подається на PORTC мікроконтролера. Ці значення знімаються мікроконтролером через тригер Шмітта.

4.3.5. Виведення інформації на дисплей

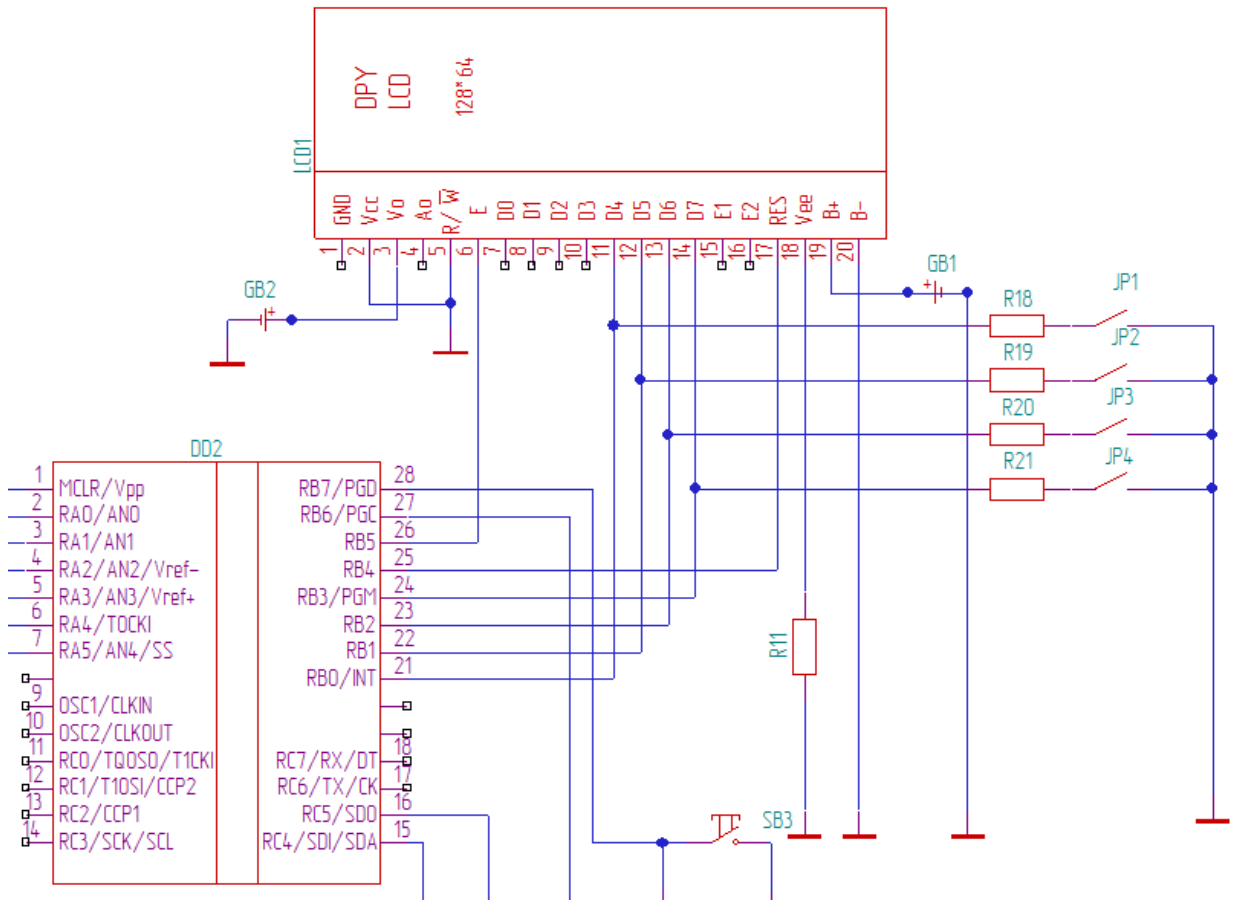


Рис. 3.8 Блок для виведення інформації про номінал досліджуваного компоненту на дисплей

Дисплей LCD1 напряму підключений до PORTB мікроконтролера та працює від джерела живлення на 5 В.

Для того, щоб забезпечити більшу точність вимірювання, до виводів мікроконтролера, за допомогою перемикачів $Jp1 - Jp4$, підключаються резистори R18 - R21 по 1 кОм для зменшення шкали вимірювання. За таких умов точність вимірювання частоти складає до 1 Гц.

4.4 Розробка програмного забезпечення

Для того, щоб розрахувати номінали електронних компонентів, в мікроконтролер має бути вшите програмне забезпечення, яке розрахує номінали.

Кодування виконано програмою “MPLAB IDE”. Програму надала фірма «MicroCHIP». Середовище розробки складається з окремих додатків, пов'язаних один з одним, і включає в себе компілятор з мови асемблер, текстовий редактор, програмний симулятор і засоби роботи над проектами, також середовище дозволяє використовувати компілятор з мови C.

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				109
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

В цьому пункті описуються кожен із блоків для вимірювання номіналів електронних компонентів, та пояснюється елементна база для цих блоків.

Для стабільної роботи приладу використовується стабілітрон, який забезпечує стабільну напругу живлення 5В.

Новий компонент для вимірювання є мемристор, описується принцип роботи мемристора та спосіб для вимірювання цього компоненту.

Реалізований вимір конденсаторів та котушок індуктивності через резонансну частоту, яку утворює компонент з невідомим номіналом у парі з котушкою індуктивності, або конденсатором, в залежності від того, який саме компонент вимірюється.

Також описано програмне забезпечення, на якому проводиться кодування мікроконтролера.

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		110

5. Розробка та моделювання схеми в середовищі програми Proteus

Для того, щоб впевнитись у правильності роботи приладу, схема вручну переноситься до програмного середовища Proteus. За допомогою програмного середовища можливе моделювання та симуляція схеми з подальшим аналізом результатів. Результат переносу схеми до програмного середовища показаний на рис. 4.1.

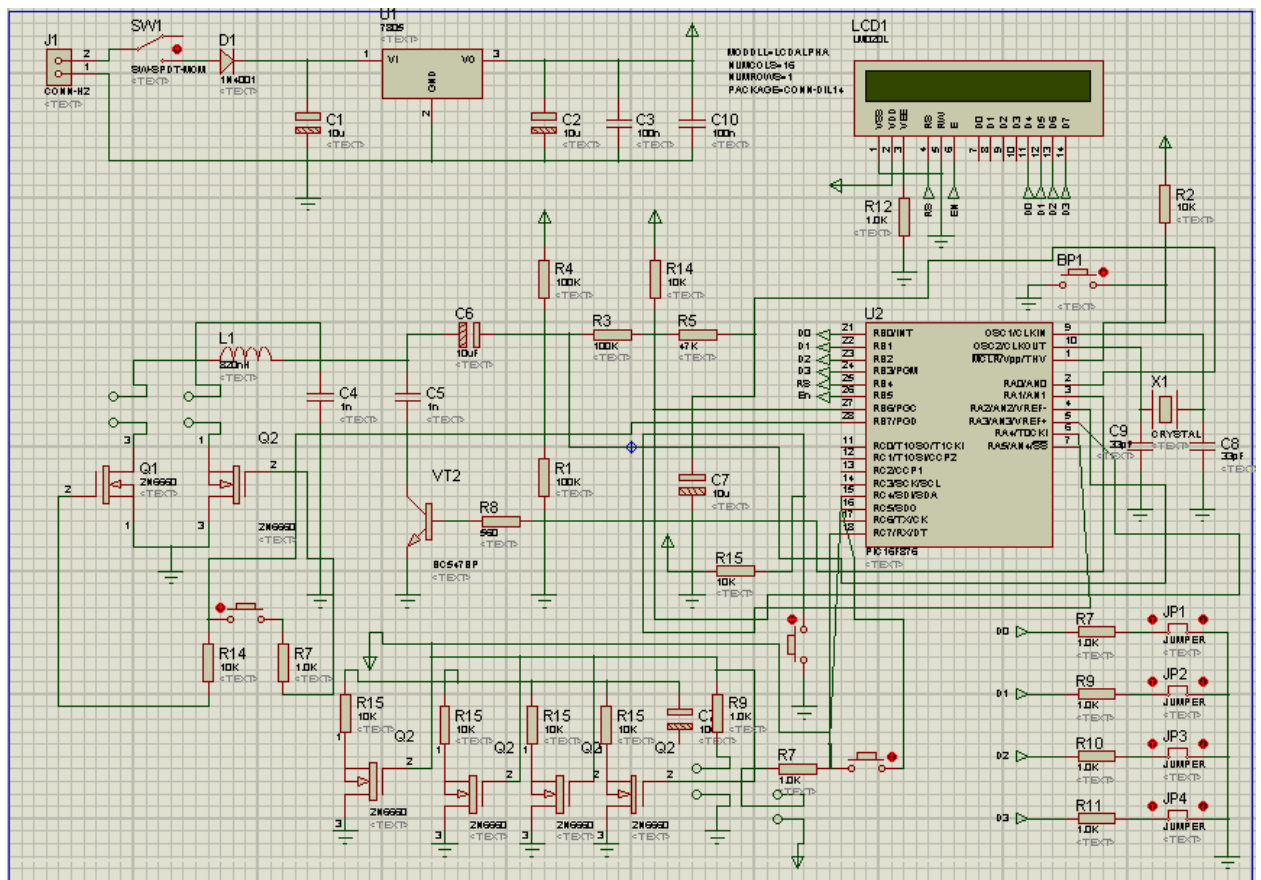


Рис. 4.1 Мікроконтролерний вимірювач електронних компонентів в програмному середовищі Proteus

За допомогою сучасної бібліотеки в програмному середовищі Proteus можна спроектувати та просимулювати роботу приладу.

Таким чином можна впевнитись в оптимальній роботі приладу, в якості корисних сигналів і т.д.

За допомогою програмного середовища Proteus можна створити друковану плату.

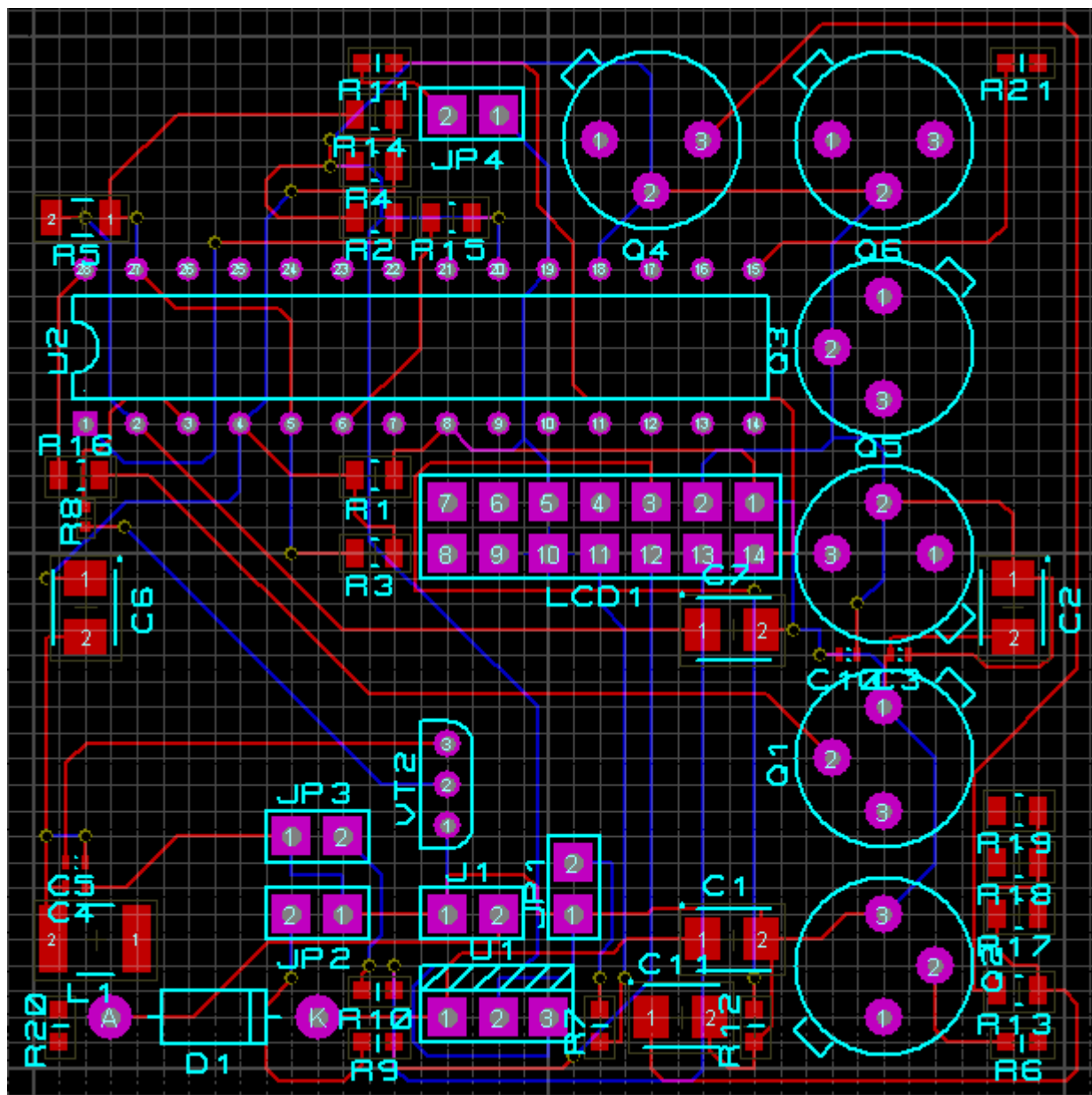


Рис 4.2 Розробка друкованої плати

Таким чином можлива розробка друкованої плати використовуючи програму із вистроєною бібліотекою.

Висновки

В цьому пункті перенесено мікроконтролерний вимірювач параметрів електронних компонентів в програмне середовище Proteus. Це дозволило просимулювати прилад, та дозволило розробити друковану плату.

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				113
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Розробка друкованої плати

Розробка друкованої плати виконується в програмному середовищі Proteus.

Розроблена друкована плата за елементною базою електричної принципової схеми. Вона двох стороння. Це зроблено для більшої комфортності приладу.

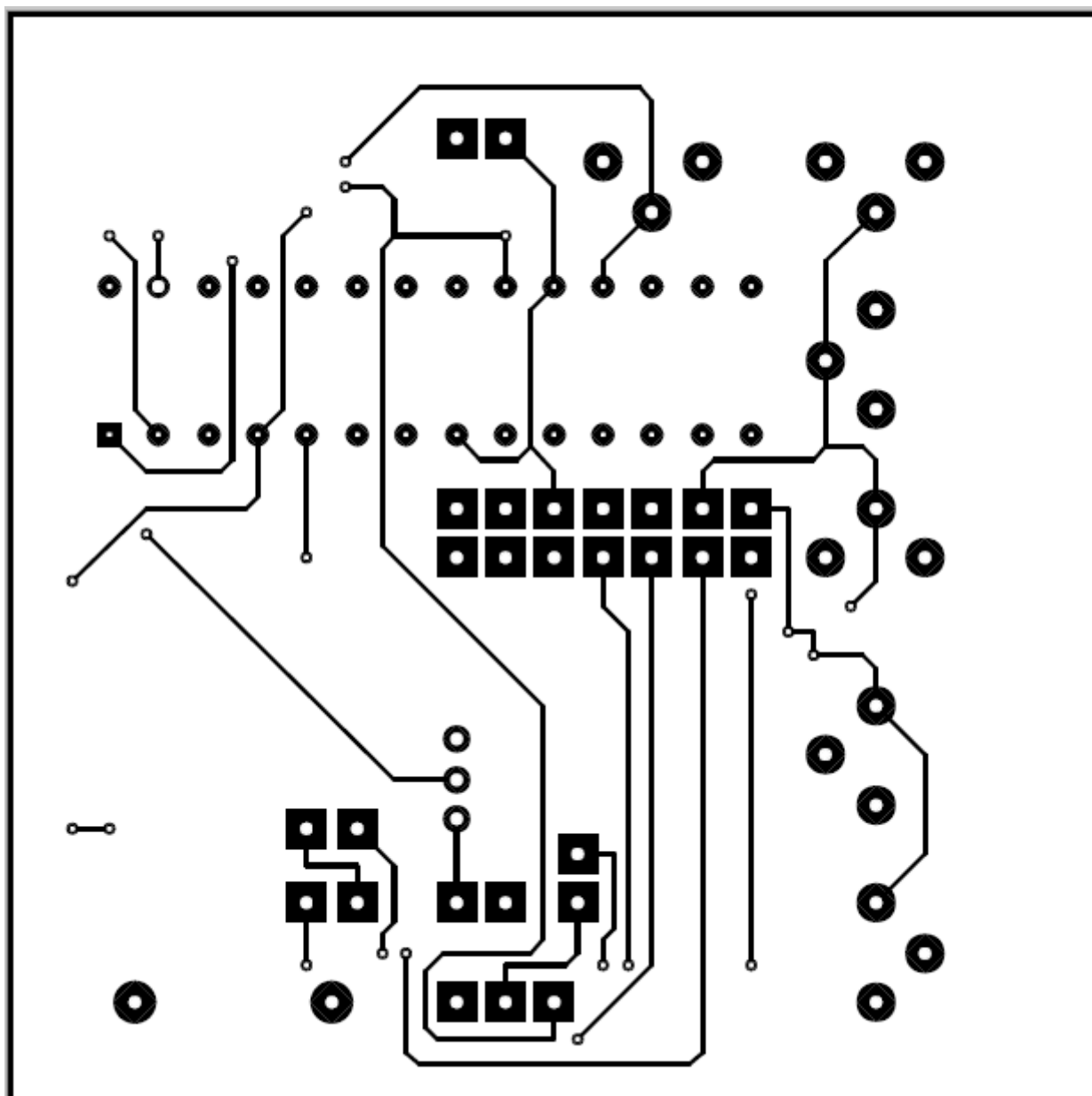


Рис. 5.1 Верхня сторона друкованої плати

		Шовкоплас Д.Я.		
		Тугай С.Б.		
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

МРП.171.081.016

Лист

114

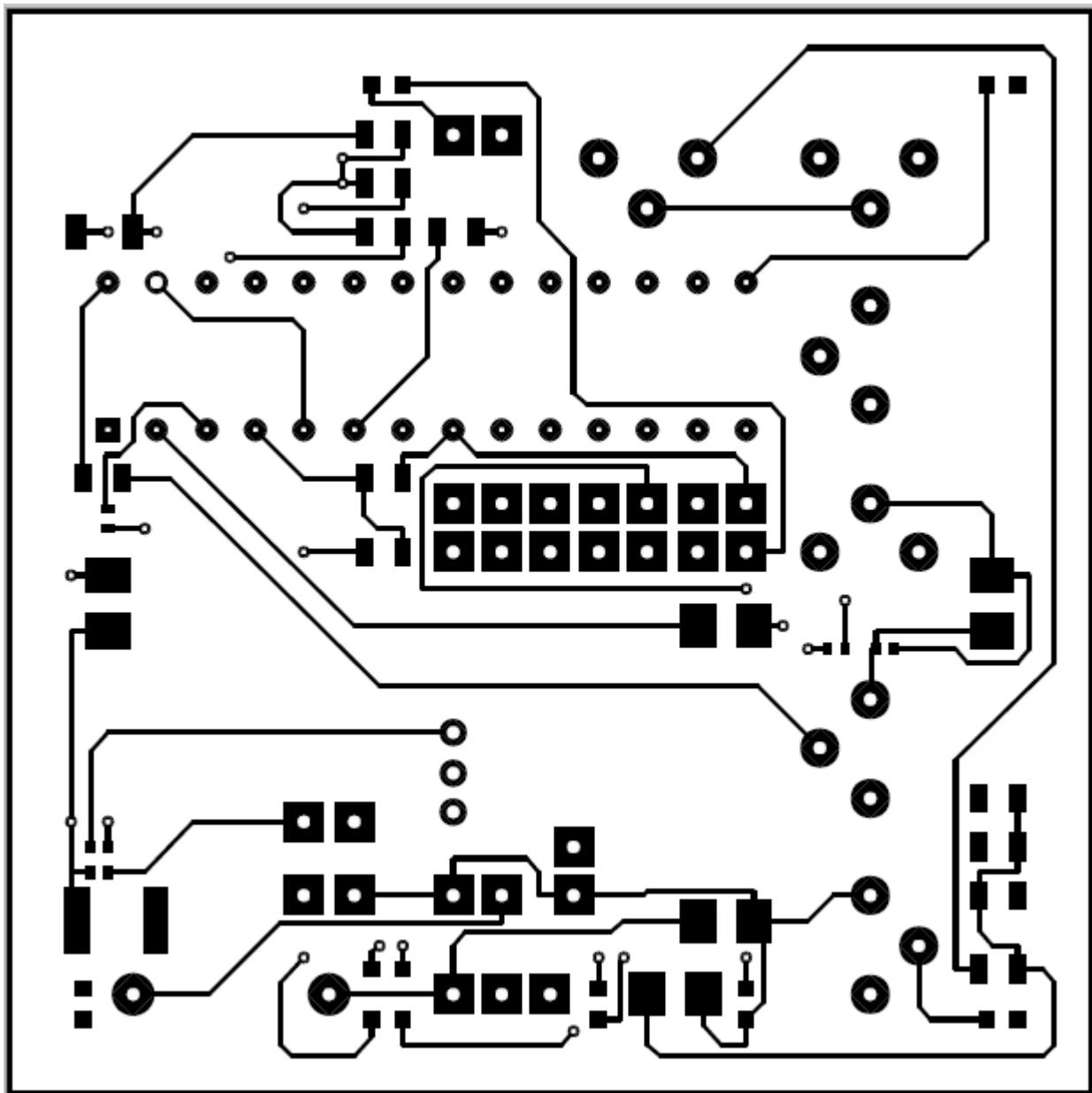








Рис. 5.2 Нижня сторона друкованої плати

Опишемо всі умовні позначення в друкованій платі та їх розміри:

Табл. 5.1 Умовне позначення та кількість отворів та доріжок в
друкованій платі

Умовне позначення	Назва	Розміри	Кількість
	Отвір	Діаметр = 0,2 мм	4
	Отвір	Діаметр = 0,4 мм	27
	Отвір	Діаметр = 0,1 мм	22
	Отвір	Діаметр = 0,3 мм	20
	Найтонша контактна доріжка	Ширина = 0,4 мм	-
	Найтовстіша контактна доріжка	Ширина = 1,1 мм	-

Висновки

В цьому пункті була розроблена друкована плата, за якою можна відтворити прилад. Друкована плата розроблена у програмному середовищі Proteus з авто розміщенням елементів. Це дозволить виробництво приладу.

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		117

ВИСНОВКИ

У ході дипломного проекту було досліджено та проаналізовано існуючі на сьогоднішній день різні типи вимірювачів електронних компонентів та методи вимірювання. Визначено, що найкраще буде спроектувати цифровий вимірювач на основі мікроконтролера.

При виборі самого мікроконтролера були розглянуті різні мікроконтролери від різних виробників, для того щоб визначитись який саме мікроконтролер підходить для задачі – вимірювання номіналів електронних компонентів. Найоптимальнішим вибором став мікроконтролер PIC від фірми «MicroCHIP». З широкого вибору різних мікроконтролерів, був обраний 8-и бітний мікроконтролер з 28-а виводами та 3-а портами, що дозволило під'єднати всі блоки для вимірювання різних типів компонентів.

Проаналізувавши параметри та характеристики мікроконтролера PIC16F876 було виявлено, що МК при зовнішньому джерелі напруги в 5 В виконує всі поставлені задачі швидко та з великою точністю.

Поставивши задачу для вимірювання пасивних елементів, були розроблені блоки для вимірювання ємності, індуктивності, активного опору та мемристивності. Для цього за досліджуваними даними були розроблені структурна та електрична принципова схеми.

Для вимірювання індуктивності та ємності (L/C) використовується резонансна частота. РЧ утворюється в парі елементів (L_x/C) або (L/C_x) та подається на один із портів МК. Тим самим за допомогою АЦП змінний сигнал конвертується у цифровий, і вже може бути оброблений мікроконтролером та за прошитими в ньому формулами обчислити номінал досліджуваного компоненту та вивести його на дисплей.

Для вимірювання активного опору в резисторах (R) використовується метод обчислення падіння напруги на мікроконтролері. За допомогою додаткових резисторів можливо збільшити точність вимірювання.

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		118

Мемристор – новий елемент пам'яті та перспективний компонент для побудови нових технологій пам'яті на його основі, таких як цілі матриці на величезні об'єми пам'яті. Мемристор має високу стійкість до корозії, до тривалого не функціонування, а також навіть до радіації. У дипломному проекті визначено принцип дії, за яким використовуються мемристори. Запропонований алгоритм для оцінки кількості перезаписів, що залишилось як окремому мемристорному елементу так і для мемристивної матриці. При вимірі за даним алгоритмом можливо автоматично оцінювати стан вимірювального окремого елементу а також виявляти коли саме елемент буде в критичній зоні, коли зчитування інформації записаної на нього є неправдоподібною. Запропоновані три параметри швидкості деградування (крутизни) з якими буде порівнювати мишина та буде надавати кожному із елементів пріоритет в залежності в якому стані знаходиться сам вимірювальний елемент. Так як після циклічних перезаписів іони кисню не можуть дифундувати назад в леговану область елементу через краєві ефект та інші фактори, в майбутньому планується дослідження до перезапису всієї структури мемристорного елементу за допомогою високовольтного поля. Планується поставити експеримент, та виявити за яких умов та за якою величиною поля можливо повернути іони кисню назад у леговану область не пошкодивши елемент та зберігаючи його дієздатним до перезапису та зберіганні інформації.

Таким чином слід враховувати обмежену кількість перезапису. Але саме за цією закономірністю можна запрограмувати мікроконтролер виводити статус елементу та оцінку кількості перезаписів. які лишилося мемристору, На основі швидкості деградації елементу, можна оцінити в якому стані перебуває сам вимірювальний мемристор. На сьогоднішній день аналогів для оцінки циклу життя мемристору не існує. Тож розробка мікроконтролерного вимірювача електронних компонентів є актуальною.

Список наукової літератури

1. Кохц Измерение, управление и регулирование с помощью PIC микроконтроллеров / Дитер Кохц: МК Пресс, 2007.- 299 с.
 2. Яценков В.С. Микроконтроллеры Microchip PIC со встроенным маломощным радиопередатчиком / Яценков В.С. : Гор.линия-Телеком, 2006. - 344 с.
 3. Яценков В.С. Микроконтроллеры Microchip с аппаратной поддержкой USB / Яценков В.С.: Гор.линия-Телеком, 2008. - 400с.
 4. Брей Применение микроконтроллеров PIC18. Архитектура, программирование, построение интерфейсов с применением C и ассемблера / Бари Брей: МК-Пресс, 2008 – 576 с.
 5. Уилмсхерст Т. - Разработка встроенных систем с помощью микроконтроллеров PIC. Принципы и практические примеры / Уилмсхерст Т.: : МК-Пресс, 2008. – 544 с.
 6. Тимофеев В. trasm Как правильно оформлять программы на ассемблере для PIC-контроллеров / Тимофеев В. – Собственное, 2010. – 40 с.
 7. PIC16F87X однокристальные 8-разрядные FLASH CMOS микроконтроллеры компании microchip technology Incorporated [www.microchip.ru/files/d-sheets-rus/pic16f87x.pdf] / ООО “Микро-Чип” , Москва 2002 – 184 с.
 8. МРИСТОРЫ – НОВЫЙ ТИП ЭЛЕМЕНТОВ РЕЗИС ТИВНОЙ ПАМЯТИ ДЛЯ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ [А.Гудков, А.Гогин и др.] под ред. А.Гудков [www.electronics.ru/files/article_pdf/4/article_4756_151.pdf], 2014 – 7 с.
- [2]

9. [www.gazeta.ru/science/2008/05/12_a_2721596.shtml? updated], 2008. [1]
- 10.– Нанотехнологии и Наноматериалы, Л. Г. Алексеева, А. С. Иванов, В. В. Лучинин, А. А. Петров, Т. Тикёу, Т. Набатамэ. УДК 621.377.6, «Мемристор – новый наноразмерный элемент многоуровневой нейроподобной логики» стр.73-78.
- 11.– Письма в ЖТФ, 2014, том 40, вып. 7
Ю.В. Храповицкая, Н.Е. Маслова, Ю.В. Грищенко, В.А. Демин, М.Л. Занавескин. «Исследование влияния материала контакта мемристора на его устойчивости к деградации при циклических переключениях.»
- 12.– Akinaga H., Shima H. //Proc. IEEE. 2010. V. 98. N 12. P. 2237-2251.
13. – Алексеева Л.Г.. ; Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Санкт-Петербург – 2016; / «ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ И ПАМЯТИ В ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУРАХ Me/MeOx/MeNA ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ОКСИДОВ»,
- 14.«Grammarly» Материал из Википедии — свободной энциклопедии / [ru.wikipedia.org/wiki/Grammarly]

ДОДАТКИ

ДОДОТОК 1 ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ

121

<i>По. Обозн.</i>	<i>Найменування</i>	<i>Кільк.</i>	<i>Примітка</i>
<i>Елем.</i>	<i>Конденсатори</i>	<i>Кільк.</i>	<i>Примітка</i>

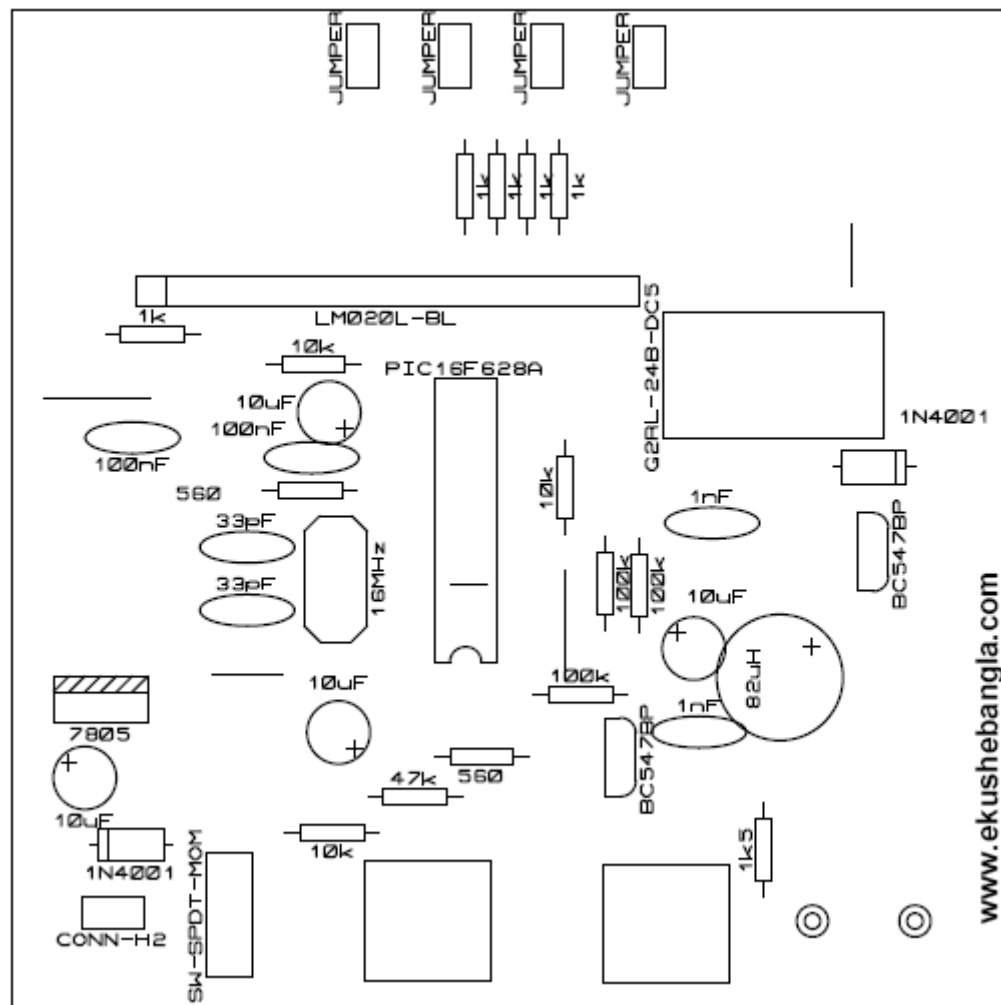
		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

<i>C1</i>	Farnell 316-581 100 mF	<i>1</i>	
<i>C2,C11</i>	Digikey 495-2238-2-ND (10 mkF)	<i>2</i>	
<i>C3,C4</i>	Farnell 316-581 100 mF	<i>2</i>	
<i>C5</i>	Farnell 578-101 1nF	<i>1</i>	
<i>C6</i>	Digikey 495-2238-2-ND (100 mkF)	<i>1</i>	
Мікроконтролер			
<i>DD2</i>	PIC16F876	<i>1</i>	
Транзистори			
<i>VT1</i>	BC547BP	<i>1</i>	
Резистори			
<i>R1</i>	DIGIKEY 311-100KCTR-ND (100 kOmh)	<i>1</i>	
<i>R2,R22</i>	DIGIKEY 311-10 KADKR-ND (10 kOmh)	<i>5</i>	
<i>R3,R4</i>	DIGIKEY 311-100KCTR-ND (100 kOmh)	<i>1</i>	
<i>R5</i>	9C12063A4702JLHFT (100 kOmh)	<i>1</i>	
<i>R6</i>	DIGIKEY P1, 5KCBTR-ND (1,5 kOmh)	<i>1</i>	
<i>R7</i>	DIGIKEY P1, OKYTR-ND (1 kOmh)	<i>1</i>	
<i>R8</i>	DIGIKEY 311-560L TR-ND (560 Ohm)	<i>1</i>	
<i>R9,R20</i>	DIGIKEY P1, OKYTR-ND (1 kOhm)	<i>2</i>	
<i>R10,R21</i>	DIGIKEY P1, OKYTR-ND (1 kOhm)	<i>2</i>	
<i>R11,R16</i>	DIGIKEY P1, OKYTR-ND (1 kOhm)	<i>2</i>	
<i>R12</i>	DIGIKEY P1, OKYTR-ND (1 kOhm)	<i>1</i>	
<i>R13</i>	DIGIKEY 311-560LTR-N-D (560 Ohm)	<i>1</i>	
<i>R14</i>	DIGIKEY 311-10KADKR-ND	<i>1</i>	
Польові транзистори			
<i>Q1-Q5</i>	2N6660	<i>6</i>	
Діоди			
<i>VD</i>	1N4001	<i>2</i>	

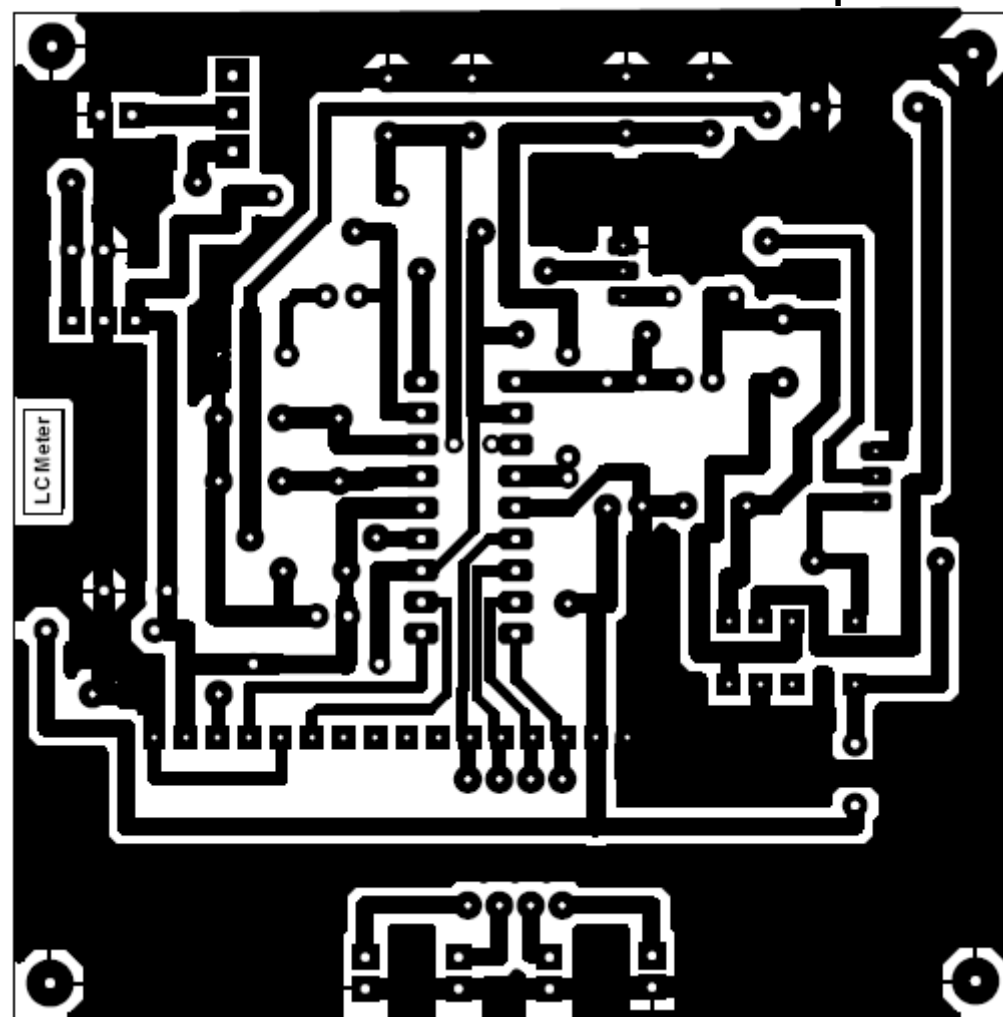
ДОДАТОК 2 СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА–ПРИНЦИПОВА

122

		Шовкопляс Д.Я.			МРП.171.081.016	Лист
		Тугай С.Б.				
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		



					МРП.171.081.016					
Изм	Лист	№ Докум.	Подпись	Дата	Додаток 3. Друкована плата (верхня сторона)			Литер	Лист	Масштаб
Разраб.	Шовкопляс									
Провер.	Тугай С.Б.								124	2:1
Реценз								НТУУ «КПИ»		
Н. Контр										
Утвер.										



Изм	Лист	№ Докум.	Подпись	Дата
Разраб.	Шовкоплас Д.			
Провер.	Тугай С.Б.			
Реценз				
Н. Контр				

МРП.171.081.016

Додаток 1. Друкована плата
(нижня сторона)

Литер	Лист	Масштаб
	125	2:1

НТУУ «КПІ»